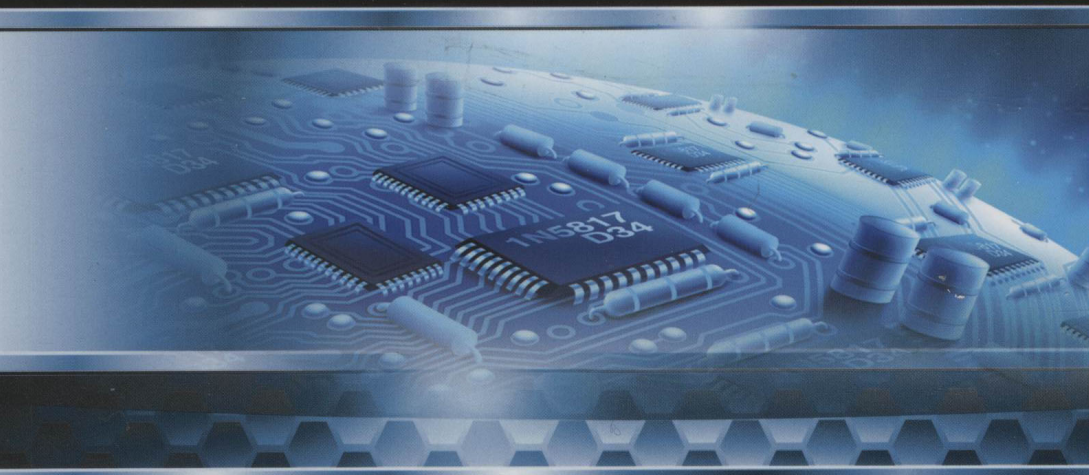
电气技师手册

DIANQI JISHI SHOUCE

黄 伟 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电 气 技 师 手 册

主　编　黄　伟
副主编　李　娜　胡晓进
参　编　郑玮玮　王红林　欧阳菲菲
主　审　李　众

机 械 工 业 出 版 社

本手册系统且有针对性地介绍了低压电器及低压成套设备、高压电器及高压成套设备、电力变压器及供配电系统、电力电子技术、调速技术及变频器、可编程序控制器、电气节能技术、接地与电磁兼容防护技术等实用技术。

本手册可供现场电气技术人员进行工程设计时参考与使用，也可作为电气技术岗位、设备维护与管理岗位的技术人员的参考用书，还可作为电气自动化、电气工程、设备管理等相关专业在校学生的学习资料。

图书在版编目（CIP）数据

电气技师手册/黄伟主编. —北京：机械工业出版社，2016.2
ISBN 978-7-111-52990-3

Ⅰ.①电… Ⅱ.①黄… Ⅲ.①电工技术—技术手册
Ⅳ.①TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 031011 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：陈玉芝 责任编辑：王振国
版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔 陈 越
封面设计：马精明 责任印制：李 洋
三河市宏达印刷有限公司印刷
2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
140mm×203mm · 30.875 印张 · 1072 千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-52990-3
定价：69.80元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203

网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
金 书 网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　　言

目前图书市场上电工手册和电气工程师手册较多，但电气技师手册较少，并且仅有的几本电气技师手册要么内容较多，要么内容的具体性和实用性不强。针对这种情况，为满足现场电气技术人员的需求，我们编写了本手册。

本手册面向电气技师，也可以供电气工程师、设备管理岗位的技术人员及在校的相关专业学生参阅。电气人员包括电工、电工技师、电气工程师等，并没有电气技师这一职业工种。我们这里所指的电气技师，是那些具备丰富的一线技术经验，掌握很强的技术技能，并且拥有相应理论知识的专业人员。本手册的编写主旨是给这些专业人员解决现场技术问题提供有益的帮助。

本手册内容丰富，知识系统、全面。为避免内容多而不具体，我们了解了一线技术人员的需求，并根据自身多年现场工作经验，查阅了大量的实用资料和技术数据，使本手册真正做到反映实际技术状况。在每一章节中，介绍的内容系统、具体，文字精练，尽量用表格叙述。例如，介绍元件有成套设备时，按照分类与用途、型号与性能、技术参数、外形尺寸、选用与安装、使用与维护、维护与典型故障排除的顺序介绍；对电力电子技术部分，按照分类与用途、型号与性能、技术参数、典型电路、典型应用的顺序介绍；对可编程序控制器部分，按照系列分类、组成、工作原理、基本软元件、存储器、基本指令、元件与编程、指令与编程、指令格式、功能指令、特殊模块及应用、Q 系列产品、系统构成与性能、电源规格与模块、功能模块、特殊模块、地址分配、工程应用、设计步骤、项目调试、系统维护的顺序介绍。

本手册编写人员均为电气工程技术人员与专业人员，有着长期的一线技术工作经历，开发了多款产品，参与了大量项目，积累了丰富经验，竭尽全力将实际工作中的体会在手册中表达出来。

本手册共分九章，由研究员级高级工程师黄伟任主编，李娜、

胡晓进任副主编，参加编写的人员还有郑玮玮、王红林、欧阳菲菲。其中，郑玮玮编写了第九章，王红林编写了第六章，欧阳菲菲编写了第八章；李娜编写了第四章和第五章，黄伟与胡晓进共同编写了第一章、第二章、第三章和第七章。黄伟确定了手册的总体思路，并对全部内容进行了认真审校与多次修改。李众教授主审了全部内容，并提出了许多宝贵意见。江苏镇安电力设备有限公司总经理叶小松高级工程师，镇江市亿华系统集成有限公司总工程师李阿福高级工程师提供了大量技术资料，并提出了很多有益的建议。

在编写过程中，我们还参阅了许多技术资料和参考文献。在此，对提供帮助的所有单位与个人表示衷心的感谢！

尽管编者认真查阅资料，尽心编写，但苦于水平有限，如有疏漏和错误，请通过邮箱 zjzhjhr@ sian. com 与我们联系，非常感谢！

编　者

目　　录

前言
第一章　低压电器及低压成套设备 …… 1
第一节　分类与型号标注…… 1
一、分类方法…… 1
二、型号表示…… 2
三、主要特性…… 4
第二节　低压电器…… 6
一、刀开关与隔离开关…… 6
二、熔断器 …… 11
三、熔断器组合开关 …… 23
四、组合开关 …… 30
五、低压断路器 …… 33
六、接触器 …… 49
七、继电器 …… 65
八、凸轮控制器 …… 97
九、起动器…… 100
十、主令电器…… 113
第三节　低压成套开关设备…… 124
一、概述…… 124
二、主电路…… 127
三、典型低压开关柜…… 129
四、低压成套设备的安装、运行与维护…… 134
第二章　高压电器及高压成套设备 …… 138
第一节　常用高压电器…… 138
一、高压隔离开关…… 138
二、高压负荷开关…… 150
三、高压熔断器…… 161
四、高压断路器…… 170

第二节　高压成套电气设备…… 193
一、概述…… 193
二、典型电路…… 198
三、典型高压开关柜…… 199
四、高压成套设备运行维护…… 287
第三章　电力变压器及供配电系统 …… 290
第一节　电力变压器概述…… 290
一、型号…… 290
二、结构和部件…… 290
三、技术参数…… 293
第二节　电力变压器的选择与安装…… 296
一、选择原则…… 296
二、型号选择…… 296
三、类型选择…… 307
四、检查安装…… 309
第三节　变压器运行维护与检修…… 313
一、注油…… 313
二、运行…… 313
三、运行异常及处理…… 317
四、常见事故及处理…… 319
五、检修周期与项目…… 322
第四节　预装式变电站及选用…… 323
一、概述…… 323
二、选用…… 325
三、运行维护…… 331
四、预装式变电站智能化…… 332
第五节　变电站的防雷及接地保护…… 334
一、电气装置接地要求…… 334
二、接地电阻的确定…… 336
第六节　供配电系统的原则和要求…… 337
一、供配电系统的主要指标…… 337
二、供配电系统的电压等级…… 338
三、电力系统的中性点接地方式…… 339

四、工矿企业供配电系统…… 341
第七节　企业电力负荷的计算…… 348
一、几个重要规定…… 348
二、用电设备的设备容量换算…… 349
三、负荷计算方法…… 352
第八节　三相短路的计算方法…… 365
一、无穷大电源系统供给的短路电流…… 365
二、计算方法与步骤…… 367
三、电网中各元件的等效电路…… 368
第四章　电力电子技术 …… 371
第一节　开关器件及典型电路…… 371
一、不可控器件…… 371
二、半控器件…… 375
三、全控器件…… 388
四、整流电路…… 425
五、逆变电路…… 438
六、直流调压电路与直流斩波电路…… 450
第二节　晶闸管控制电路…… 460
一、对触发电路的要求…… 460
二、同步锯齿波触发电路…… 462
三、集成触发电路…… 465
四、IGBT 控制电路 …… 477
第五章　调速技术及变频器 …… 487
第一节　调速概述…… 487
一、调速方式分类…… 487
二、串级调速原理…… 488
第二节　变频调速技术…… 490
一、变频调速原理…… 490
二、变频器的分类与功能…… 492
三、中间电路…… 495
第三节　三菱 FR—500 及 FR—700 系列变频器 …… 497
一、变频器主电路…… 497
二、变频器电气接线…… 502

三、开关量输入电路…… 504
四、开关量输出电路…… 515
五、系统闭环回路…… 522
第四节　三菱典型变频器的运行与操作…… 524
一、操作模式与运行方式…… 524
二、运行频率给定与相关参数…… 531
三、模拟量输入…… 538
四、其他频率给定…… 543
五、开关量输入/输出 …… 545
第五节　基本功能与参数设置…… 553
一、电动机参数设定…… 553
二、变频器控制方式…… 559
三、加减速与制动…… 564
四、失速防止…… 572
五、断电重新起动…… 575
六、报警重新起动…… 576
七、PID 调节 …… 577
八、工频切换…… 583
九、升降负载控制…… 587
十、挡块减速定位…… 589
十一、机械制动功能…… 591
第六节　变频器的安装使用…… 594
一、变频器工作环境…… 594
二、变频器安装基本要求…… 598
三、变频器接地…… 603
第六章　传感器及检测技术…… 606
第一节　传感器的分类、结构和性能…… 606
一、传感器的分类…… 606
二、传感器的结构…… 607
三、传感器的性能…… 608
第二节　检测技术与检测系统…… 610
一、检测技术…… 610
二、检测系统…… 610

第三节　典型传感器及其选用…… 612
一、应变片电阻传感器…… 612
二、电感式传感器…… 621
三、电容式传感器…… 626
四、压电式传感器…… 636
五、热电阻式传感器…… 643
六、热电偶式传感器…… 650
七、磁敏式传感器…… 658
八、差动式传感器…… 664
九、光电式传感器…… 669
十、霍尔式传感器…… 673
十一、气敏式传感器…… 680
十二、红外线传感器…… 683
第七章　可编程序控制器 …… 687
第一节　可编程序控制器的组成与原理…… 687
一、组成和功能…… 687
二、工作原理…… 693
第二节　可编程序控制器（三菱）的基本元件 …… 698
一、输入/输出元件 …… 698
二、存储器…… 699
第三节　三菱 FX 系列可编程序控制器 …… 699
第四节　三菱 FX 系列可编程序控制器的基本指令 …… 727
一、基本指令…… 727
二、元件与编程…… 730
三、指令与编程…… 753
四、编程语言与指令格式…… 763
第五节　三菱 FX 系列可编程序控制器的功能指令 …… 764
一、功能指令…… 764
二、功能指令的作用…… 765
第六节　三菱 FX 系列可编程序控制器的模拟量特殊单元 …… 772
一、分类与选用…… 772
二、接入方式…… 775
三、编程指令…… 776

四、模拟量 I/O 功能扩展板 …… 778
五、模拟量输入模块 …… 788
六、模拟量输出模块 …… 810
七、温度测控模块 …… 822
八、温度测量特殊模块 …… 830
九、模拟量控制系统程序 …… 844
第七节　Q 系列可编程序控制器 …… 854
一、主要特点 …… 854
二、系统构成与编程性能 …… 856
三、电源模块 …… 858
四、基板 …… 862
五、扩展电缆 …… 863
六、典型模块 …… 864
七、I/O 地址分配 …… 871
八、输入/输出元件 …… 875
九、指令系统 …… 882
第八节　可编程序控制器工程设计 …… 900
一、型号选择 …… 900
二、设计原则及步骤 …… 901
三、I/O 模块选择及电路设计 …… 903
四、PLC 外部电路设计 …… 904
五、程序设计与调试 …… 907
第九节　可编程序控制器的维护 …… 912
一、日常维护 …… 912
二、状态指示灯 …… 914
三、故障诊断与维修 …… 915
第八章　电气节能技术 …… 919
一、概述 …… 919
二、降低供配电线路损耗的措施 …… 920
三、降低变压器损耗的措施 …… 923
四、提高功率因数的方法 …… 926
五、电动机的节能 …… 928
六、电加热设备的节能 …… 933

七、照明装置的节能 …… 935
第九章　接地与电磁兼容防护技术 …… 939
第一节　接地的一般概念 …… 939
一、概述 …… 939
二、工作接地 …… 940
三、保护接地 …… 941
四、防雷接地 …… 942
第二节　电气设备的接地 …… 944
一、接地要求 …… 944
二、接地装置 …… 945
第三节　低压配电系统的接地 …… 948
第四节　其他设备的接地 …… 951
一、电子设备的接地 …… 951
二、PLC 的接地 …… 953
三、屏蔽接地 …… 954
四、电气试验设备的接地 …… 954
第五节　防静电接地 …… 955
一、静电的产生 …… 955
二、静电的特点 …… 955
三、防静电接地 …… 956
第六节　电磁兼容防护技术 …… 958
一、电磁兼容概述 …… 958
二、电磁干扰抑制技术 …… 961
三、电磁屏蔽设计 …… 963
四、变频器的电磁兼容设计 …… 968
参考文献 …… 974

第一章　低压电器及低压成套设备

第一节　分类与型号标注

低压电器是指 AC 1 200V 或 DC 1 500V 电力线路中，具备保护、控制或调节、转换和通断等功能的电器元件。

一、分类方法

1. 按用途划分

（1）低压配电电器　低压配电系统中刀开关、转换开关、熔断器、断路器和保护继电器等，分断能力强，限流和保护特性好，动稳定性和热稳定性好。

（2）低压控制电器　电力传动系统中控制继电器、接触器、起动器、控制器、主令电器、电阻器、变阻器和电磁铁等。

2. 按种类划分

按种类划分为刀开关和刀形转换开关、熔断器、断路器、控制器、接触器、起动器、控制继电器、主令电器、电阻器、变阻器、调整器、电磁铁等。

3. 按动作方式划分

（1）自动类　电磁或气动驱动通断、反向和停止等，如接触器、断路器、继电器等。

（2）手动类　人力驱动通断、起动、反向或停止等，如刀开关、转换开关及主令电器等。

4. 按防护形式划分

第一类防护，防止固体异物或人体进入内部或触及带电体运动部分；第二类防护，防止水进入内部的有害程度。外壳防护等级用 IP□□表示，第一个□是异物防护等级，第二个□是水防护等级。

5. 按工作条件划分

一般工业用电器，用于机床、通用机械等；船用电器，耐潮、耐腐蚀、耐摇摆和抗冲击振动等；化工电器，耐腐蚀、防爆；矿用电器，隔爆、耐潮、抗冲击；牵引电器，耐振动、耐冲击，用于交通运输工具；航空电器，

体积小、重量轻、耐冲击和耐振动等。

还可分热带型电器、干热带型电器、湿热带型电器和高原电器。各种分类还有若干派生电器。

二、型号表示

低压电器基本型号组成见图 1-1。

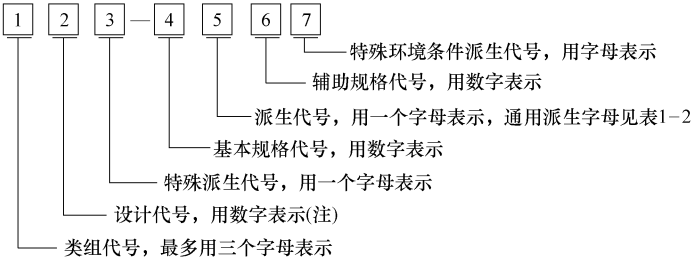


图 1-1　低压电器基本型号组成

注：数字位不变，两位及两位以上，首位数字 9—船用；8—防爆用；7—纺织用；6—农业用；5—化工用。

产品型号类组代号含义见表 1-1，加注通用派生字母对照见表 1-2。

表 1-1　产品型号类组代号含义

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	断路器	控制器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他
A						按钮式		按钮					
B									板形元件				触电保护器
C		插入式				电磁式			冲片元件	旋臂式			插销
D	刀开关						漏电		铁铬铝带型元件		电压		信号灯

（续）

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
G				鼓形	高压				管形元件				
H	封闭式负荷开关	汇流排式											接线盒
J					交流	减压		接近开关					
K	开启式负荷开关					真空			主令控制器				
L		螺纹式					电流				励磁		电铃
M		封闭管式	灭磁		灭磁								
P				平面	中频					频敏			
Q										起动		牵引	
R	熔断器式刀开关						热		非线性电力电阻				
S	刀形转换开关	快速	快速		时间	手动	时间	主令开关	烧结元件	石墨			
T		有填料封闭管式		凸轮	通用		通用	足踏开关	铸铁元件	起动调整			
U						油浸		旋钮		油浸起动			
W			框架式				温度	万能转换开关		液体起动		起重	
X						星形-三角形		行程开关	电阻器	滑线式			

（续）

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
Y	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他		硅炭电阻元件	其他		液压	
Z	组合开关	自复	塑料壳式		直流	综合	中间					制动	

表 1-2　加注通用派生字母对照

派生字母	
A、B	结构设计稍改进或变化
C	插入式
J	交流、防溅
Z	直流、防振、正向、重任务、自动复位
W	失电压、无极性、出口用、无灭弧装置
N	可逆、逆向
S	三相、双线圈、防水式、手动复位、三个电源、有锁住机构
P	单相、电压、防滴式、电磁复位、两个电源
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	灭磁、母线式、密封式
Q	防尘式、手车式
L	电流的、折板式、漏电保护
F	高返回、带分励脱扣
X	限流
TH 湿热带 TA 干热带	热带产品代号，注在型号最后位置

三、主要特性

1. 机械使用寿命

400A 以下为 10 000 次，600～1 500A 为 5 000 次，3 000A 以上主要用作隔离开关，使用寿命要求低。

2. 电动稳定性

HD 系列低压开关电动稳定性见表 1-3。

表 1-3　HD 系列低压开关电动稳定性

稳定电流 I_n/A	电动稳定电流峰值/kA		1s 热稳定电流/kA	分断能力①/A	
	手柄式	杠杆式		AC 380V $\cos\varphi=0.7$	直流 $t=0.01$s 220/440V
100	15	20	6	100	100/50
200	20	30	10	200	200/100
400	30	40	20	400	400/200
600	40	50	25	600	600/300
1 000	50	60	30	1 000	1 000/500
1 500	—	80	40		

① 分断能力指带灭弧装置的刀开关。对杠杆式，交流只断开 $0.3I_e$，直流断开 $0.2I_e$。

3. 主要技术参数及类别

主要技术参数包括额定电压、额定电流、分断能力、电动稳定性电流、允许操作频率、热稳定性电流、电使用寿命等。低压电器使用类别见表 1-4。

表 1-4　低压电器使用类别

种类代号	使用类别代号	典型用途对象
AC	AC-1	无感性或微感性负载、电阻炉
	AC-2	绕线式电动机的起动、分断
	AC-3	笼型异步电动机的起动、运转中分断
	AC-4	笼型异步电动机的起动、反接制动与反向、点动
	AC-5a	控制电灯的通断
	AC-5b	控制白炽灯的通断
	AC-6a	变压器的通断
	AC-6b	电容器组的通断
	AC-7a	家用电器中微感性负载和类似负载
	AC-7b	家用电动机负载
	AC-8a	密封制冷压缩机中的电动机控制(过载继电器手动复位)
	AC-8b	密封制冷压缩机中的电动机控制(过载继电器自动复位)
	AC-11	控制交流电磁铁负载
	AC-12	控制电阻性负载和发光二极管隔离的固态负载
	AC-13	控制变压器隔离的固态负载
	AC-14	控制容量(闭合状态)≤72V·A 的电磁铁负载
	AC-15	控制容量(闭合状态)>72V·A 的电磁铁负载
	AC-20	无载条件下的“闭合”、“通断”电路
	AC-21	通断电阻负载,包括通断适中的过载
	AC-22	通断电阻电感混合负载,包括通断适中的过载
	AC-23	通断电动机负载或其他高电感负载

（续）

种类代号	使用类别代号	典型用途对象
AC 和 DC	A	非选择性保护，短路情况下断路器明确应有选择性保护，即无人为故意短延时，也无额定短时耐受电流及相应的分断能力要求
	B	选择性保护，在短路情况下断路器明确应有选择性保护，即短延时≥0.05s 并有额定短时耐受电流及相应的分断能力要求
DC	DC-1 DC-3 DC-5 DC-6	无感性或微感性负载、电阻炉 并励电动机起动、反接制动、点动 串励电动机起动、反接制动、点动 白炽灯的通断
	DC-11 DC-12 DC-13 DC-14	控制直流电磁铁负载 控制电阻负载和发光二极管隔离的固态负载 控制直流电磁铁负载 控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载
	DC-20 DC-21 DC-22 DC-23	无载条件下的“闭合”“通断”电路 通断电阻性负载包括适度性过载 通断电阻电感混合负载包括适度的过载（如并励电动机） 通断高点感性负载（如串励电动机）
	gG gM aM	全范围分断的一般用途（G）的熔断器 全范围分断的电动机回路用（M）的熔断器 部分分断的电动机回路用（M）的熔断器

第二节 低压电器

一、刀开关与隔离开关

1. 结构与应用

刀开关用于 50Hz、额定电压至 380V，直流电压至 440V；额定电流至 1 500A的成套配电装置中，用作不频繁地手动通断交、直流电路或作隔离开关。

中央手柄式单投和双投刀开关主要用于变电站，不切断带有电流的电路，用作隔离开关；侧面操作手柄式刀开关，主要用于动力箱中；中央正面杠杆操作机构刀开关主要用于正面操作、后面维修的开关柜中，操作机构装在正前方；侧方正面操作机械式刀开关主要用于正面两则操作、前面维修的开关柜中，操作机构可以在柜的两侧安装。刀开关的实物图及其结构见图 1-2及图 1-3。

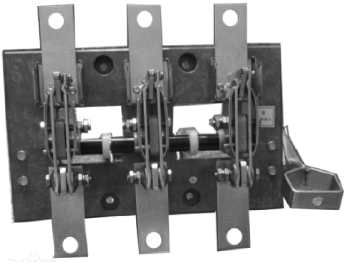


图 1-2　刀开关的实物图

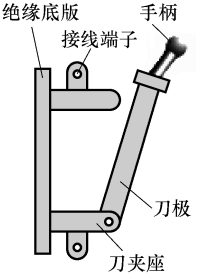


图 1-3　刀开关的结构

2. 主要类型

（1）刀开关

1）HD 系列刀开关和 HS 系列转换开关：主要用于配电设备和供电线路，50Hz、AC 380V 或 DC 440V、1 500A 成套配电装置中，不频繁手动通断交直流电路或作隔离开关。中央手柄式单投和双投刀开关，变电站不能切断带电流的电路中用作隔离开关；侧面操作手柄式刀开关，用于动力箱；中央正面杠杆操作刀开关用于正面操作、后面维修的开关柜，操作机构装在正前方；侧方正面操作机械式刀开关用于正面两侧操作、前面维修的开关柜，操作机构可在柜两侧安装；装有灭弧室开关可切断电流负载，其他系列刀开关只用作隔离开关。刀开关型号及含义见图 1-4，HD 系列刀开关和 HS 系列刀形转换开关规格见表 1-5，电气性能参数见表 1-6。

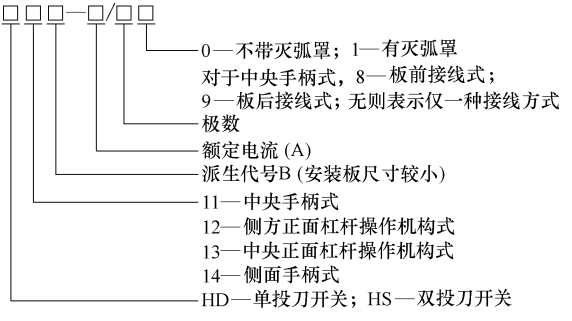


图 1-4　刀开关型号及含义

表 1-5 HD 系列刀开关和 HS 系列刀形转换开关规格

型号	结构形式	转换方式	极数	额定电流/A
HD11—□/□8	中央手柄操作	单投	1、2、3	100、200、400
HD11—□/□9	中央手柄操作	单投	1、2、3	100、200、400、600、1 000
HS11—□/□	中央手柄操作	双投	1、2、3	100、200、400、600、1 000
HD12—□/□1	侧方正面杠杆操作(带灭弧罩)	单投	2、3	100、200、400、600、1 000
HS12—□/□1	侧方正面杠杆操作(带灭弧罩)	双投	2、3	100、200、400、600、1 000
HD12—□/□0	侧方正面杠杆操作(无灭弧罩)	单投	2、3	100、200、400、600、1 000、1 500
HS12—□/□0	侧方正面杠杆操作(无灭弧罩)	双投	2、3	100、200、400、600、1 000
HD13—□/□1	中央正面杠杆操作(带灭弧罩)	单投	2、3	100、200、400、600、1 000
HS13—□/□1	中央正面杠杆操作(带灭弧罩)	双投	2、3	100、200、400、600、1 000
HD13—□/□0	中央正面杠杆操作(无灭弧罩)	单投	2、3	100、200、400、600、1 000、1 500
HS13—□/□0	中央正面杠杆操作(无灭弧罩)	双投	2、3	100、200、400、600、1 000
HD14—□/31	侧面手柄操作(带灭弧罩)	单投	3	100、200、400、600
HD14—□/30	侧面手柄操作(不带灭弧罩)	单投	3	100、200、400、600

表 1-6 HD 系列刀开关和 HS 系列刀形转换开关电气性能

额定电流/A	分断能力①/A		电动稳定性电流(峰值)/kA		1s 热稳定电流/kA	AC 380V 及断开 60% 额定电流时的电使用寿命①/次
	AC 380V $\cos\varphi=0.7$	DC 220V $t=0.01s$	中央手柄操作式	杠杆操作式		
100	100		15	20	6	1 000
200	200		20	30	10	1 000
400	400		30	40	20	1 000
600	600		40	50	25	500
1 000	1 000		50	60	30	500
1 500	—		—	80	40	—

① 带灭弧装置时。

2）HH3、HH4 系列封闭式负荷开关：控制电灯、电热、电阻等，可作分支线路控制开关。HH3 系列封闭式负荷开关熔体规格及控制电动机功率见表 1-7，HH4 系列封闭式负荷开关熔体规格见表 1-8，HH3、HH4 系列封闭式负荷开关通断能力、熔断器分断能力见表 1-9。

表 1-7　HH3 系列封闭式负荷开关熔体规格及控制电动机功率

开关额定电流/A		15			30			60			100		200
熔体	额定电流/A	6	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	200
	熔丝直径/mm	0.26	0.35	0.46	0.65	0.71	0.81	1.02	1.22	1.32	1.62	1.81	
	材料	纯铜丝											纯铜片
控制电动机功率/kW	220V	2.0			4.5			9.5					
	380V	3.0			7			15					
	500V	4.5			10			20					

表 1-8　HH4 系列封闭式负荷开关熔体规格

开关额定电流/A		15			30			60		
熔体	额定电流/A	6	10	15	20	25	30	40	50	60
	熔丝直径/mm	1.08	1.25	1.98	0.61	0.71	0.80	0.92	1.07	1.20
	材料	软铅丝			纯铜丝					

表 1-9　HH3、HH4 系列封闭式负荷开关通断能力、熔断器分断能力

额定电流/A	HH3、HH4 系列封闭式负荷开关通断能力/A			熔断器极限分断能力/A		
	AC 440V		DC 500V	AC 440V		DC 500V
	cosφ	分断电流	$L/R=0.006\sim0.008$s	cosφ	分断电流	$L/R=0.006\sim0.008$s
15	0.4	60	22.5	0.8	1 000	500
30		120	45		2 000	2 000
60		240	90		4 000	4 000
100	0.6	250	150	0.4	5 000	
200	0.8	300	300			5 000

（2）开启式负荷开关

1）HK1 系列开启式负荷开关：用于控制电气照明电路、电热回路，可作分支电路的配电开关，其技术数据见表 1-10。

表 1-10　HK1 系列开启式负荷开关技术数据

额定电流/A	极数	额定电压/V	可控制电动机最大功率/kW		触刀极限分断能力（cosφ=0.6）/A	熔丝极限分断能力/A
			220V	380V		
15	2	220	—	—	30	500
30			—	—	60	1 000
60			—	—	90	1 500
15	3	380	1.5	2.2	30	500
30			3.0	4.0	60	1 000
60			4.5	5.5	90	1 500

2）HK8 系列开启式开关熔断器组：用于 50Hz，单相 220V、三相 380V，电流至 63A 电路中作总开关、支路开关及电灯电热器开关等，用于手动不频繁通断有负载电路和小容量线路的短路保护。其规格见表 1-11，熔体分断额定熔断短路电流见表 1-12。

表 1-11　HK8 系列开启式开关熔断器组熔体规格

额定电压/V	极数	额定电流/A	熔体规格(直径)/mm
220	2	10	1.25
		16	1.67
		32	2.40
380	3	16	0.44
		32	0.72
		64	1.02

表 1-12　HK8 系列开启式开关熔断器组熔体分断额定熔断短路电流

额定电压/V	极数	额定电流/A	分断能力/A	额定电压/V	极数	额定电流/A	分断能力/A
220	2	10	1 000	380	3	16	1 500
		16	1 500			32	2 000
		32	2 000			64	2 500

3）HH12、HH12D 系列开关熔断器：用于 50/60Hz、415V、额定电流 20A、32A、63A、100A、200A 配电设备中，作电源开关和不频繁通断负载电路，作线路过负载和短路保护。其通断能力见表 1-13。

表 1-13　HH12、HH12D 系列开关熔断器通断能力

型号	额定电压/V	额定电流/A	开关触头通断能力		熔断器极限分断能力/kA	机械寿命/次	电寿命/次
			接通能力/A	分断能力/A			
HH12—20/3	415	20	80		50	1 000	5 000
HH12—32/3		32	140				
HH12—63/3		63	250				2 000
HH12—100/3		100	400			3 000	
HH12—200/3		200	800				
HH12D—20/3	415	20	80			10 000	5 000
HH12D—32/3		32	140				
HH12D—63/3		63	250				2 000
HH12D—100/3		100	400			3 000	
HH12D—200/3		200	800				

3. 选用

（1）刀开关　根据用途、安装位置，确定型式；根据负载电流选择型号，中央手柄式刀开关不能切断负载电流，有灭弧装置的刀开关可切断负载电流；刀开关额定电流和电压必须符合电路要求。

（2）开启式负荷开关

① 额定电压。照明电路选额定电压为220V或250V的二极开关；小功率三相异步电动机选380V或500V的三极开关。

② 额定电流。照明或电热设备时，负荷开关额定电流不小于开断电路中各负载额定电流总和；控制电动机时，负荷开关额定电流约为电动机的3倍。

③ 熔丝。变压器、电热器和照明电路，熔丝额定电流不小于负载电流；配电线路熔丝额定电流不大于线路安全电流；电动机负载电路，熔丝额定电流为电动机的1.5～2.5倍。

（3）封闭式负荷开关　小于60A的封闭式负荷开关，控制不频繁直接起动的小功率异步电动机；安装在短路电流不大的线路末端；照明或电热设备时，负荷开关额定电流不小于开断电路各负载额定电流总和；控制电动机时负荷开关额定电流为电动机的1.5倍。

（4）熔断器式刀开关　根据用电设备的功率正确选择熔体的等级及定额。

4. 维护

1）保证三相同步，各极接触良好。

2）按说明书分断负载能力使用，分断严重过载会引起持续燃弧或造成相间短路，损坏开关。

3）无灭弧罩低压开关只作隔离开关，不可带负荷电流分断。分断电路时应先拉开带负载的开关，后拉隔离开关，合闸与分断相反。

5. 常见故障分析和处理（见表1-14）

二、熔断器

1. 基本结构及应用

熔断器是指当电流超过规定值时，以本身产生的热量使熔体熔断、断开电路的电器，作为短路和过电流的保护器，是应用最普遍的保护器件之一。

熔体额定电流不等于熔断器额定电流，熔体额定电流按被保护设备的负荷电流选择，熔断器额定电流大于熔体额定电流，与主电器配合确定；熔断器主要由熔体、外壳和支座等组成，熔体是控制熔断特性的元件，熔体的材

表 1-14 刀开关常见故障和处理

现象	原因	处理
开关触头过热、熔焊	①开关的刀片、刀座中烧毛 ②封闭式负荷开关速断弹簧压力调整不当 ③刀片与刀座表面不洁,接触电阻大 ④动触头插入深度不够,降低了开关载流容量 ⑤带负载操作起动大容量设备,大电流冲击发生动静触头接触瞬间的弧光 ⑥在短路电流作用下,开关的热稳定不够,造成触头熔焊	①及时适当修磨动静触头,接触良好 ②检查弹簧弹性,将转动处的防松螺母或螺钉调整适当,使弹簧力维持动静触头间紧密接触与瞬间开合 ③及时清除刀片、刀座氧化层,可在刀片与刀座间接触部涂凡士林 ④调整杠杆操作机构,保证插入深度达到规定要求 ⑤禁止违章操作 ⑥排除短路点,并更换较大容量的开关。对轻微熔焊的触头,可撬开后稍加修整继续使用;严重熔焊的触头应更换
开关与导线接触部位过热	①导线连接螺栓松动、弹簧垫圈失效 ②螺栓选用偏小,造成开关通过额定电流时连接部位过热 ③两种不同金属发生电化锈蚀,接触电阻加大	①更换失效的弹簧垫圈并紧固 ②应按适当电流密度选择螺栓。铜质螺栓电流 200A 以下时电流密度为 0.3A/mm^2,600A 以下时电流密度为 0.1A/mm^2

料、尺寸和形状决定了熔断特性，熔体材料分为低熔点和高熔点两类；低熔点材料如铅和铅合金，电阻率较大，熔体截面积较大，熔断时的金属蒸气较多，只适用于低分断能力的熔断器；高熔点材料如铜、银，不容易熔断，电阻率较低，熔体截面积较小，熔断时的金属蒸气少，适用于高分断能力的熔断器；熔体形状分丝状和带状两种，改变截面形状可显著改变熔断器的熔断特性，熔断器有不同的熔断特性曲线，可适用于不同类型保护对象。

2. 特性与参数

① 额定电压。如 AC 380V、500V、660V、1 000V 等；DC 220V、440V 等。

② 额定电流。取决于熔断器长期工作允许的温升，按被保护电器、电动机功率确定；不同等级熔体可装入同一级的熔断器。

③ 分断能力。取决于熔断器的灭弧能力。

3. 主要类型

1）瓷插式：用于 50Hz、380V、额定电流至 200A 低压线路末端或分支

电路中，作电缆及电气设备短路保护及过载保护，其技术数据见表 1-15。

表 1-15　RC1A 系列瓷插式熔断器技术数据

型号	熔断器额定电流/A	额定电压 U_n/V	熔体额定电流/A	熔体直径/mm	熔体材料及牌号	极限分断电流(有效值) I_{cu}/A	飞弧距离/mm
RC1A—5	5	3 相 380 或单相 220	2	0.46	保险铅丝 GB 3132—1982	300	≤10
			5				
RC1A—10	10		2	0.46		500	≤15
			4	0.71			
			6	0.98			
			8	1.02			
			10	1.25			
RC1A—15	15		6	1.02			≤20
			10	1.51			
			12	1.67			
			15	1.98			
RC1A—30	30		20	0.60	TR 圆铜线 GB 3953—2009	1 500	≤30
			25	0.71			
			30	0.8			
RC1A—60	60		30	0.8		3 000	≤60
			40	0.93			
			50	1.06			
			60	1.20			
RC1A—100	100		60	1.30			≤90
			80	1.56			
			100	1.80			
RC1A—200	200		120	—	T2 铜带熔片		≤140
			150	—			
			200	—			

2）RL8D 螺旋式：用于 50Hz、380V、2～100A 电路中，作过负荷和短路保护，其技术数据见表 1-16，约定时间和约定电流见表 1-17。

表 1-16　RL8D 螺旋式熔断器的技术数据

额定电压/V	熔断器支持件额定电流/A	熔体额定电流/A	额定分断能力/kA
380	16	2、4、6、10、16	50
	63	20、25、35、50、63	
	100	80、100	

表 1-17 RL8D 螺旋式熔断器约定时间和约定电流

额定电流 I_n/A	约定时间 /h	约定不熔断电流 I_{nf}/A	约定熔断电流 I_f/A
$I_e \leqslant 4$	1	$1.5I_e$	$2.1I_e$
$4 < I_e < 16$			$1.9I_e$
$16 \leqslant I_e \leqslant 63$		$1.25I_e$	$1.6I_e$
$63 < I_e \leqslant 100$	2		

3）RL6、RL7 系列螺旋式：用于 50/60Hz、500V（RL6 系列）、660V（RL7 系列）配电系统中，作线路过载及系统短路保护，其技术数据见表 1-18，RL6、RL7 系列熔断器 0.01s 时的 I^2t 值见表 1-19，弧前时间门限值见表 1-20。

表 1-18 RL6、RL7 系列熔断器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A		额定分断能力(有效值)/kA	熔体额定耗散功率/W	约定时间和约定电流			
		支持件	熔体			熔体额定电流 I_n/A	约定不熔断电流	约定熔断电流	约定时间/h
RL6	500	25	2、4、6、10、16、20、25	50	4	$I_e \leqslant 4$	$1.5\ I_e$	$2.1\ I_e$	1
		63	35、50、63		7	$4 < I_e < 16$	$1.5\ I_e$	$1.9I_e$	1
		100	80、100		9	$16 \leqslant I_e \leqslant 63$	$1.25I_e$	$1.6\ I_e$	1
		200	125、160、200		19				
RL7	660	25	2、4、6、10、16、20、25	25	6.3	$63 < I_e \leqslant 160$			2
		63	35、50、63		13.4	$160 < I_e \leqslant 200$			3
		100	80、100		16.8				

表 1-19 RL6、RL7 系列熔断器 0.01s 的 I^2t 值

熔体额定电流/A	6	10	16	20	25	35	50	63	80	100	125	160	200
I^2t_{min}(弧前)/$10^3 A^2 \cdot s$	0.0221	0.1102	0.3	0.5	1.0	3.0	5.0	9.0	16	27	46	86	140
I^2t_{max}(弧前)/$10^3 A^2 \cdot s$	0.2722	0.6250	1.0	1.8	3.0	8.8	16	27	46	86	140	250	400

表 1-20　RL6、RL7 系列熔断器弧前时间门限值

熔体额定电流/A	6	10	16	20	25	35	50	63	80	100	125	160	200
I_{min}(10s)/A	12	22	33	42	52	82	125	160	215	290	355	460	610
I_{max}(5s)/A	26	46.5	65	85	110	164	250	320	425	580	715	950	1 250
I_{min}(0.1s)/A	24.5	58	85	110	150	220	350	450	610	820	1 100	1 450	1 910
I_{max}(0.1s)/A	67.5	117	150	200	260	390	610	820	1 100	1 450	1 910	2 590	3 420

4）RL1 系列螺旋式：分断能力强、体积小、更换熔体方便和熔断显示。50Hz、380V、额定电流至 200A 低压线路末端或分支电路中，作电缆、电气设备短路及一般过载保护。其技术数据见表 1-21～表 1-23。

表 1-21　RL1 系列螺旋式熔断器技术数据

型号	熔断器额定电流/A	熔体额定电流等级/A	额定电压/V
RL1—15	15	2、4、5、6、10、15	AC 380V 或 DC 440V
RL1—60	60	20、25、30、35、40、50、60	
RL1—100	100	60、80、100	
RL1—200	200	100、125、150、200	

表 1-22　RL1 系列螺旋式熔断器的极限分断能力

熔断器额定电流/A	极限分断电流/kA		回路参数	
	交流 380V(有效值)	直流 440V	cosφ	t/ms
15	25		0.25	15～20
60				
100	50	10		
200				

表 1-23　RL1 系列螺旋式熔断器的保护特性

［环境温度：(20±5)℃］

熔体额定电流/A	额定电流的倍数	
	1h 不熔断	1h 必熔断
<10	1.5	2.1
≈30	1.4	1.75
>30	1.3	1.6

5）RLS2 系列螺旋式快速熔断器：简称快熔，50/60Hz、500V 电路中，作硅元件和晶闸管保护。其技术数据见表 1-24。

6）RM10 系列无填料封闭管式：50Hz、380V、额定电流至 1 000A 低压线路末端或分支电路中，作电缆、电气设备短路及一定程度过载保护，技术数据见表 1-25。

表 1-24 RLS2 系列熔断器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A(括号内数据为非标准规格)		额定分断能力/kA	最大熔断体额定耗散功率/W
		熔断器	熔断体 I_n		
RLS2—30	500	30	16、20、25、30	50	18
RLS2—63		63	35、(45)、50、63	$\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$	32.5
RLS2—100		100	(75)、80、(90)、100		54

表 1-25 RM10 系列无填料封闭管式熔断器技术数据

额定电流/A	熔体额定电流/A	额定电压/V	380V 极限分断能力/kA	额定电流/A	熔体额定电流/A	额定电压/V	380V 极限分断能力/kA
15	6、10、15	AC220、380，DC220、440	1.2	200	100、125、160、200	AC 220、380，DC 220、440	10
60	15、20、25、30、35、40、50、60		3.5	350	200、225、260、300、350		
100	60、80、100			600	350、430、500、600		
			10	1000	600、700、850、1 000		12

7）RM7 无填料封闭管式：50Hz、380V、额定电流至 600A 低压线路末端或分支电路中，作电缆、电气设备短路及一定程度过载保护，技术数据见表 1-26。

表 1-26 RM7 系列无填料封闭式熔断器技术数据

熔管额定电流/A	熔体额定电流/A	50Hz，380V	
		分断能力/A	$\cos\varphi$
15	6、10、15	2 000	0.7
60	15、20、25、30、40、50、60	5 000	0.55
100	60、80、100	20 000	0.4
200	100、125、160、200	20 000	0.4
400	200、240、260、300、350、400	20 000	0.35
600	400、450、500、560、600	20 000	0.35

8）RT15 系列有填料封闭管式螺栓连接熔断器：50/60Hz、415V 配电系统中，作线路过负载及短路保护，其技术数据见表 1-27。

9）RT19B 系列有填料封闭管式圆筒形熔断器：50Hz、380V 配电中，作线路过载及系统短路保护，RT19B 系列额定电压 380V，其技术数据见表 1-28。

表 1-27　RT15 系列熔断器技术数据

额定电压/V	额定电流/A		额定分断能力/kA	额定耗散功率/W	约定时间和电流			
	熔断器	熔体			熔断体额定电流 I_n/A	约定不熔断电流	约定熔断电流	约定时间/h
415	100	40、50、63、80、100	80 cosφ=0.1～0.2	10.5	$I_n \leqslant 63$	$1.25I_n$	$1.6I_n$	1
	200	125、160、200		22	$63 < I_n \leqslant 160$			2
	315	250、315		32				
	400	350、400		40	$160 < I_n \leqslant 400$			3

表 1-28　RT19B 系列熔断器技术数据

直径/mm×长度/mm	额定电流/A		额定分断能力(有效值)/kA
	支持件	熔体	
φ8×32	16	2、4、6、8、10、12、16	50 (cosφ=0.1～0.2)
φ10×38	25	2、4、6、8、10、12、16、20、25	
φ14×51	40	4、6、8、10、12、16、20、25、32、40	
φ22×58	125	10、12、16、20、25、32、40、50、63、80、100、125	

10）RT0 系列有填料闭管式：50Hz、380V、额定电流至 1000A 线路末端或分支电路中，作电缆、电气设备短路及一定程度过载保护，其技术数据见表 1-29。

表 1-29　RT0 系列有填料闭管式熔断器技术数据

额定电流/A	熔体额定电流/A	额定电压/V 极限分断能力/kA	额定电流/A	熔体额定电流/A	额定电压/V 极限分断能力/kA
50	5、10、15、20、30、40、50	AC380/50 DC440/25	400	150、200、250、300、350、400	AC380/50 DC440/25
100	30、40、50、60、80、100		600	350、400、450、500、550、600	
200	80、100、120、150、200		1000	500、600、700、800、900、1 000	

11）RT30 系列圆管式：家用或类似场所 200/380V 线路，作过负载和短路保护，其技术数据见表 1-30。

12）NGT、RS□系列半导体器件保护用熔断器：保护电力电子器件及成套装置的短路故障，AC 380～1 000V，额定电流至 630A，额定分断能力 100kA，其技术数据见表 1-31。

表 1-30　RT30 系列熔断器技术数据

额定电压/V	额定电流 I_n/A	额定分断能力/kA	耗散功率/W	0.01s 时 I^2t/A^2·s		约定不熔断电流	约定熔断电流	约定时间/h
				I^2t_{min}	I^2t_{max}			
220	6	6	1.0	24	225	1.5 I_n	1.9 I_n	1
	10		1.3	110	677			
	16		2.3	300	1 000	1.25 I_n	1.6 I_n	1
380	20	20	2.6	500	1 800			
	25		3.2	1 000	3 000			
	32		3.2	1 800	5 000			
	63		6.8	9 000	27 000			

表 1-31　NGT、RS □系列熔断器技术数据

型号	额定电流/A	额定电压/V	额定损耗功率/W	电压降/mV	型号	额定电流/A	额定电压/V	额定损耗功率/W	电压降/mV
NGT00 NGT—C00 RS□—00 RS□—C00	25	380 660	8.6	344	NGT2 NGT—C2 NGT—B2 RS□—2 RS□—C2	200	380 660 1 000	47	235
	32		9.9	309		250		53	212
	40		11.3	283		280		56	200
	50		13.2	264		315		62	197
	63		15.7	249		355		67	189
	80		18.7	234		400		75	188
	100		22.6	226	NGT3 NGT—C3 NGT—B3 RS□—3 RS□—C3	355	380 660 1 000	65	180
	125		27.0	216		400		72	170
NGT1 NGT—C1 RS□—1 RS□—C1	100	380 660 1 000	34	340		450		75	167
	125		36	280		500		83	166
	160		40	258		560		92	164
	200		46	230		630		105	167
	250		55	220					

13）RSF 系列半导体器件保护用熔断器：50Hz、1 000V、额定电流至 2 100A电路中，作大功率整流二极管、晶闸管及成套变流装置短路和某些不允许过载的保护，其技术数据见表 1-32。

表 1-32　RSF 系列熔断器技术数据

额定电压/V	额定电流/A		额定分断能力/kA	安装形式	备注
	熔断器	熔体			
800	100	10、20、32、40、50、63、80、100	60	M	
	750	400、450、500、600、630、710、750		P、P_P、M、M2	
	1 500	800、1 000、1 250、1 400、1 500		P、P_P、M	2×750A 并联
	2 100	1 600、1 800、2 100		P、P_P	3×750A 并联

（续）

额定电压/V	额定电流/A		额定分断能力/kA	安装形式	备注
	熔断器	熔体			
1000	100	10、20、32、40、50、63、80、100	48	M	
	750	400、450、500、600、630、710、750		P、P_P、M、M2	
	1500	800、1 000、1 250、1 400、1 500		P、P_P、M	2×750A 并联

14）RST10、RST1 系列半导体器件保护用熔断器：主要用于 50Hz、660V、额定电流 200～1250A 电路中，作半导体器件及成套装置短路保护，其技术数据见表 1-33、表 1-34。

表 1-33　RST10 系列半导体器件保护用熔断器技术数据

型号	额定电压/V	熔体额定电流/A	额定功率/W	额定分断能力/kA
RST10—450	660	200、250、315、350、400、450	120	100
RST10—800		400、450、500、550、630、710、800	200	
RST10—1250		500、550、630、710、800、900、1 000、1 100、1 250	280	

表 1-34　RST1 系列半导体器件保护用熔断器技术数据

额定电压/V	熔断器额定电流/A	熔体额定电流/A	额定分断能力/kA
1000	800	630、710、800	100
	1 250	800、1 000、1 250	
	2 000	1 250、(1 500)、1 600、2 000	

15）RSO 系列有填料快熔：主要用于 50Hz、750V 电路中，作硅整流器件短路与过载保护，分断快。其技术数据见表 1-35。

表 1-35　RSO 系列有填料快熔技术数据

型号	熔体额定电流/A	额定电压/V	额定功耗/W
RSO—50	30	250　500	≤15
	50		
RSO—100	80		≤35
	100		
RSO—200	150		≤50
	200	500	
RSO—350	200		≤85
	250	500　750	
	320		
	350	250	
RSO—480	480	250　500	≤100

4. 选用与维护

（1）一般熔断器

1）类型选择：根据负载保护特性和短路电流选择。如电动机过载保护，容量不需很大，也不要求限流，但熔化系数适当小，宜用锌质熔体和铅锡合金熔体的熔断器；配电电路保护熔断器如短路电流大，选高分断能力熔断器，还要选有限流作用的熔断器，如 RT0 系列熔断器；故障频发场所选“可拆式”熔断器，如 RC1A、RL1、RM7、RM10 等。

2）额定电压：熔断器额定电压不小于线路工作电压；熔断器额定电流不小于熔体额定电流。

3）额定电流：确定熔体额定电流后，再确定熔断器额定电流。熔断器额定电流不小于熔体额定电流。有时熔断器可选大一级。

4）上下级配合：配电系统中，各级熔断器间应互相配合，下一级（支路）熔断器全部分断时间，较上一级（主电路）熔断器熔体熔化的时间短。通常上一级是下一级 3 倍以上。上下级用同一型号熔断器，电流等级相差两级。如上下级型号不同，根据保护特性曲线的熔断时间来选取。

（2）一般熔断器的维护　熔断器额定电压应大于线路电压；熔体额定电流不大于熔管额定电流；熔断器极限分断能力不小于被保护线路最大短路电流；安装时保证熔体与触刀、触刀与刀座接触良好，管式熔断器应垂直安装；安装熔体时要防止损伤；更换熔体时熔体型号规格要一致；更换熔体或熔管时必须切断电路；熔断器连接线的材料和截面积或接线温升要符合规定，并考虑熔断器的环境温度；封闭管式熔断器的熔管，不允许随意用其他绝缘管代替，如熔管烧焦必须更换。

（3）快熔

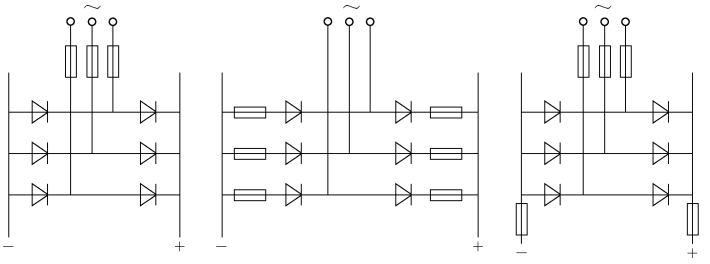
1）熔断器选择：交流侧、直流侧、整流桥臂的接法，见图 1-5。接入交流侧时，对输出端或整流器件都能短路保护，但不能立即判断出故障点；接入整流桥臂时，仅相应臂内整流器件短路、熔断器动作，不涉及其他桥臂，需熔断器多；如接入直流侧，除直流端短路故障外，不能起保护作用，同时在熔断器熔断时可能产生危及硅整流器件的过电压，小容量整流装置有时用此接法。

2）熔体额定电流：选择快熔熔体额定电流是有效值，而所保护硅器件额定电流是平均值。熔断器接在交流侧时，熔体额定电流 I_{eR} 按下式决定，即

$$I_{eR} \geqslant k_1 I_{zh,max} \tag{1-1}$$

式中　$I_{zh,max}$——可能的最大整流电流；

k_1——由整流电路形式决定的系数，见表 1-36。



a) 接入交流侧　　b) 接入整流桥臂　　c) 接入直流侧

图 1-5　整流电路中快熔接法

表 1-36　k_1 在不同整流电路时的数值

整流电路形式	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	双星形六相
k_1 值	1.57	0.785	1.11	0.575	0.816	0.29

如熔断器与硅整流器件串接，按硅整流器件额定电流选择。因硅整流器件电流是平均值，它同有效值之比约 1∶1.5，取熔断器熔体额定电流为

$$I_{eR} \geqslant 1.5 I_{eG} \tag{1-2}$$

式中　I_{eG}——硅整流器件的额定电流（平均值）。

当晶闸管导通角不同时，考虑电流有效值与平均值间的关系，k_1 与线路形式、晶闸管导通角有关，见表 1-37。如快熔与晶闸管串联，选择方法同不可控整流电路，按式（1-2）计算。

表 1-37　k_1 在不同整流电路及不同导通角时的数值

整流电路形式	180°	150°	120°	90°	60°	30°
单相半波	1.57	1.66	1.88	2.22	2.78	3.99
单相桥式	1.11	1.17	1.33	1.57	1.97	2.82
三相桥式	0.816	0.828	0.865	1.03	1.29	1.88

3）快熔额定电压：在快熔分断电流瞬间，最高电弧电压达到电源电压的 1.5～2 倍。硅整流器件反向峰值电压必须满足：

$$\sqrt{2} U_{eR} \geqslant k_2 E_f \tag{1-3}$$

式中　U_{eR}——快熔的额定电压（有效值）；

E_f——硅整流电路的反向峰值电压；

k_2——一般取 1.5 ~ 2。

4）注意事项：快熔结构简单，但维修更换较麻烦；要保证连续供电时，可选用快速断路器；负载侧短路时，快熔几乎全部动作，此时可用快速断路器。常用于冶金、电解、电镀等电源整流设备中。快熔常见故障分析和处理见表 1 - 38。

表 1-38　快熔常见故障分析和处理

现象	可能原因	处理方法
快熔熔体熔断	①熔体电流偏大,长期过载时熔体不能及时熔断 ②熔体偏小,在正常负载下短时间内熔断	根据设备性质选用熔体,如连续发生该现象 3 次以上,重新计算熔体电流
快熔熔体非正常熔断	①熔断器的动静触头触片与插座、熔体与底座接触不良引起过热,熔体误熔断 ②熔体氧化腐蚀或安装时有机械损伤,造成熔体误熔断	①更换熔体时应对接触部位调整,保证接触良好 ②更换熔体时避免损伤

（4）熔体选择

1）一般熔断器熔体：

① 配电变压器低压侧，熔体额定电流 = (1 ~ 1.2) × 变压器低压侧额定电流。

② 单台电动机，熔体额定电流 = (1.5 ~ 2.5) × 电动机额定电流。

③ 多台电动机，总熔体额定电流 = (1.5 ~ 2.5) × 功率最大的电动机额定电流 + 其余电动机的额定电流。

④ 减压起动电动机，熔体额定电流 = (1.5 ~ 2.0) × 电动机额定电流。

⑤ 直流电动机、绕线式电动机，熔体额定电流 = (1.2 ~ 1.5) × 电动机额定电流。

⑥ 照明电路电灯支路，熔体额定电流≥支路上所有电灯工作电流之和。

⑦ 照明电路，装于电能表出线熔体额定电流 = (0.9 ~ 1.0) × 电能表额定电流 > 全部电灯的工作电流。

2）快熔熔体：快熔接在交流侧或整流电路中，熔体电流≥k_1 × 最大整流电流。k_1 选择见表 1-36。快熔与整流器件串联，熔体额定电流≥1.5 × 整流元件额定电流。

（5）注意事项　长期过载比短路电流小得多，熔体发热时间长，在小截面处熔断，熔断部位短；短路电流大，熔体熔断较快，熔断部位较长，甚至大截面烧光。对快熔熔体的熔断，过载时与正常工作时相比所增加的热量不大，此时两端导线与熔体连接处接触电阻对温升的影响较大，熔体两端连接处熔断；短路时热量大、时间快，产生最高温升点在熔丝中段来不及将热量传至两端，在中间熔断。

三、熔断器组合开关

1. 基本结构与应用

实质是熔断器与开关组合而成的产品，在电路中具备通断及保护作用。

2. 主要类型

1）HG 系列熔断器式隔离器。AC 380V、约定电流至 63A，高短路电流配电和电动机电路中，作电源隔离器或电路保护。其型号见图 1-6，由底座、手柄及熔断体支架组成。操作手柄使熔体支架在底座内上下滑动，分合电路。隔离器辅助触头先于主触头断开，后于主电路接通。辅助触头串联在接触器控制电路中，保护隔离器无载通断电路。如不与接触器配合，必须在无载状态下操作隔离器。

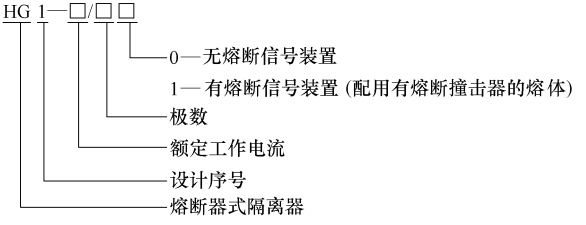


图 1-6　HG 系列熔断器式隔离器型号

当隔离器用带撞击器的熔断体时，任一极（相）熔断体熔断后，撞击器弹出，横杆触动底板微动开关发出信号或切断接触器控制电路，防止电动机断相运行。带外部手柄的隔离器有锁扣装置，保证安全，将隔离器锁在断开位置。如必要也可选择在闭合位置锁住操作手柄，防止误操作。HG1 隔离器用于电源隔离，断开位置隔离间距大；用于电路保护，配用熔断器分断能力强，具有防断相运行的熔断信号装置。

常用 HG0 和 HG1 系列，HG1 系列熔断器式隔离器技术数据见表 1-39，HG30、HG50Y 系列熔断器式隔离器技术数据见表 1-40。

表 1-39　HG1 系列熔断器式隔离器技术数据

型　号		HG1—20	HG1—32	HG1—63
约定发热电流/A		20	32	63
额定工作电压/V		380		
额定熔断短路电流(有效值)/kA		50		
辅助触头	额定工作电压/V	380		
	约定发热电流/A	6		
机械寿命/次		3 000		

表 1-40　HG30、HG50Y 系列熔断器式隔离器技术数据

型　号	HG30—32				HG50Y—63
额定工作电流/A	10	16	20	32	63
额定工作电压/V	220　380				
额定绝缘电压/V	380				
熔断体额定电流/A	10	16	20	32	63
隔离器额定熔断短路电流/kA	6		20		60
使用类别	AC-20				
机械寿命	3 000				
极数	1、2	1、2、3、4			1、2、3

2）HH15 系列隔离开关熔断器组。高短路电流、低功率因数电路中，作手动、不频繁操作的主开关，尤适合抽出式低压成套装置。其型号见图 1-7。全封闭结构、可靠性高，有滚动插入式触头系统。每相有两组断点触头系统。两组触头串联或并联，满足电流不同电路及多工作类别。操作机构有储能弹簧，动触头组运动速度与操作力与操作速度无关。其技术数据见表1-41。

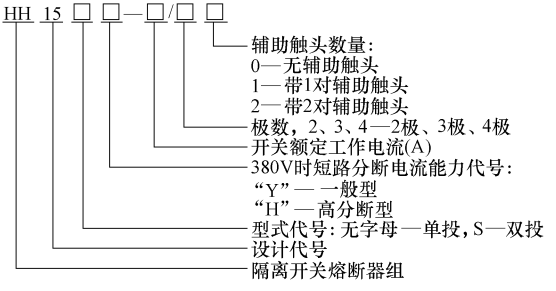


图 1-7　HH15 系列隔离开关熔断器组型号

表 1-41　HH15 系列隔离开关熔断器组技术数据

规格		63	125	160	250	400	630
主极数		3					
额定绝缘电压/V		AC 1000					
额定工作电压/V		AC 380、AC 660					
约定发热电流/A		80	160	160	400	400	800
约定封闭发热电流/A		63	125		250		630
(额定工作电流/功率)/(A/kW)	380V、AC-23B	80/30	160	160/90	250/132	400/200	630/333
	660V、AC-23B	85/55		160/150	250/220	400/375	630/560
额定熔断短路电流(有效值)/kA	380V	100					
	660V	50					
机械寿命/万次		1.5		1.2	1.2	1.2	0.3
电寿命/次		1000		300	300	300	150
最大熔体/A		160		160	400	400	630
刀型触头熔体号码		00	00	00	1 或 2	1 或 2	3
螺栓连接型熔管型号		A3	B1 或 B2		B1 ~ B4	B1 ~ B4	C1 ~ C4
操作力矩/N·m		7.5	1.7	16	16	16	30
辅助触头电流(380A、AC-15)/A		4					6

3）HR3 和 HR5 系列熔断器式刀开关。50Hz、380V、电流至 600A 系统中，作短路、电缆与导线过载保护。供不频繁手动通断正常负载与过载电流，短路时由熔断器分断电路。HR3 系列熔断器式刀开关的型号见图 1-8，主要产品见表 1-42，技术数据见表 1-43；HR5 系列技术数据见表 1-44 ~ 表 1-46。

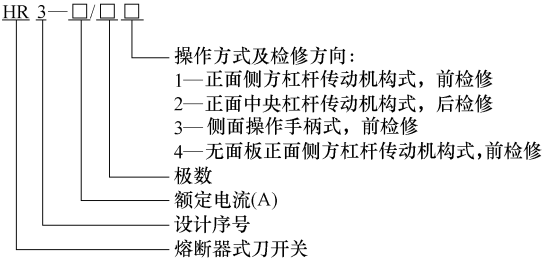


图 1-8　HR3 系列熔断器式刀开关的型号

表 1-42　HR3 系列熔断器式刀开关产品

额定电流/A	AC 380V			
	HR3 正面侧方杠杆传动机构式	HR3 正面中央杠杆传动机构式	HR3 侧方操作手柄式	HR3 无板面正面侧方杠杆传动机构式
100	HR3—100/31	HR3—100/32	HR3—100/33	HR3—100/34
200	HR3—200/31	HR3—200/32	HR3—200/33	HR3—200/34
400	HR3—400/31	HR3—400/32	HR3—400/33	HR3—400/34
600	HR3—600/31	HR3—600/32	HR3—600/33	HR3—600/34

表 1-43　HR3 系列熔断器式刀开关技术数据

型号	刀开关分断能力/A		熔断器分断能力/A		熔断器	
	380V、50Hz $\cos\varphi \geqslant 0.6$	DC 400V、$t \leqslant 0.004\ 5$s	50Hz、380V $\cos\varphi \leqslant 0.3$	DC 400V $t = 0.015 \sim 0.02$s	额定电流/A	额定熔断电流/A
HR3—100	100		50 000	25 000	100	30、40、50、60、80、100 80、100、120、150、200 150、200、250、300、350、400 350、400、450、500、550、600 700、800、900、1 000
HR3—200	200				200	
HR3—400	400				400	
HR3—600	600				600	
HR3—1 000	1 000				1 000	

表 1-44　HR5 系列熔断器式刀开关的通断能力和额定熔断短路电流

额定工作电压 U_e/V	约定发热电流 I_e/A	使用类别	额定接通和分断能力							额定熔断短路电流		
			接通			分断			通断次数	电流有效值/kA	$\cos\varphi$	通断次数
			I/I_e	U/U_e	$\cos\varphi$	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos\varphi$				
380	100	AC-23B	10	1.05	0.45	8	1.05	0.45	5	50	0.25	各 1 次
	200				0.35			0.35	3			
	400											
	630											
660	100		3		0.65	3		0.65	3	50	0.25	各 1 次
	200											
	315											
	400											

注：额定绝缘电压 660V。

表 1-45　HR5 系列熔断器式刀开关的通断条件

额定工作电压 V	使用类别	接通		分断	
		I/I_e	U/U_e	I/I_e	U/U_e
380	AC－23B	1	1	1	1
660	AC－22B	1	1	1	1

注：开关机械寿命为 3 000 次（100、200A）和 1 000 次（400、630A）；电寿命为 600 次（100、200A）和 200 次（400、630A）。

表 1-46　HR5 系列熔断器式刀开关的开关与熔断体配用关系

开关约定发热电流/A	熔体号码	熔体电流值/A
100	00	4、6、10、16、20、25、32、35、40、50、63、80、100、125、160
200	1	80、100、125、160、200、224、250
400	2	125、160、200、224、250、300、315、355、400
600	3	315、355、400、425、500、630

4）HR6 系列熔断器式隔离开关。45～62Hz、660V、约定发热电流至630A，在高短路电流配电电路和电动机电路中作电源开关、隔离开关和电路保护，一般不直接开关单台电动机。其型号见图 1-9，技术数据见表1-47、表 1-48。

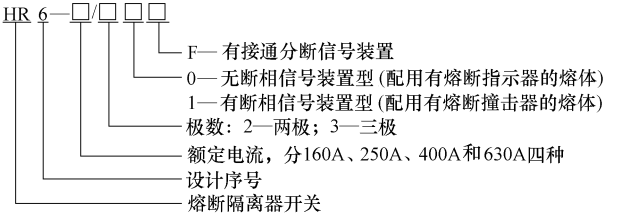


图 1-9　HR6 系列熔断器式隔离开关型号

表 1-47　HR6 系列熔断体技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A
NT00	500	4、6、10、16、20、25、32、40、50、63、80、100、125、160
	660	4、6、10、16、20、25、32、35、40、50、63、80、100
NT1	500	80、100、125、160、200、224、250
	660	80、100、125、160、200
NT2	500	125、160、200、224、250、300、315、355、400
	660	125、160、200、224、250、300、315
NT3	550	153、554、400、425、500、630
	660	315、355、400、425

5）HR11 系列熔断器式开关。50/60Hz、额定绝缘电压 550V、额定工作电压 415V，大短路电流配电电路和电动机电路中，作电源开关、隔离开关和应急开关，并作电路保护。其技术数据见表 1-49、表 1-50。

表 1-48　HR6 系列熔断器式隔离开关技术数据

型号			HR6—160	HR6—250	HR6—400	HR6—630
额定绝缘电压/V			660			
额定工作电流/A	约定发热电流/A		160	250	400	630
	380V					
	660V		100	200	315	425
额定接通分断能力/A	380V，cosφ = 0.35，AC-23 符合 IEC408	接通	1 280	2 000	3 200	5 040
		分断	960	1 500	2 400	3 780
	660V，cosφ = 0.65，AC-22 符合 IEC408	接通	480	750	1 200	1 890
		分断				
额定熔断短路电流/kA			50			
最大预期峰值电流/kA			100			
配用 NT 熔断体型号			00	1	2	3
污染等级			3			
安装类别			Ⅲ			

注：辅助开关额定电压 AC 380V，约定发热电流 6A，负载类别 AC-11，开断容量 300V · A。

表 1-49　HR11 系列熔断器式开关通断能力

型号	额定电压/V	额定电流/A	额定接通和分断能力				额定熔断短路电流	使用类别
			接通		分断		电流有效值/kA	
			电流/A	电压倍数	电流/A	电压倍数		
HR11—100K	380	100	150	1.1	150	1.1	50	AC-21
HR11—200K		200	300		300			
HR11—315K		315	475		475			
HR11—400K		400	600		600			
HR11—100K		100	300		300			AC-22
HR11—200K		200	600		600			
HR11—315K		315	945		945			
HR11—400K		400	1 200		1 200			
HR11—100K		40	400		320			AC-23
HR11—200K		80	800		640			
HR11—315K		125	1 000		800			
HR11—400K		160	1 300		1 000			

表 1-50　HR11 系列熔断器式开关与熔体电流配用关系

型号	RT15 系列熔断器额定电流/A	熔体电流/A
HR11—100K	100	40、50、63、80、100
HR11—200K	200	125、160、200
HR11—315K	315	250、315
HR11—400K	400	350、400

6）HR_5^6 系列熔断器式开关。50Hz、660V、约定发热电流至 630A 大短路电流配电和电动机电路中，作电源开关、隔离开关和电路保护。其技术数据见表 1-51～表 1-53。

表 1-51　HR_5^6 系列熔断器式开关通断能力

型号	额定电压/V	额定接通和分断能力					配用 NT 系列熔体号码	额定熔断短路电流①		
		接通(AC 380V)		分断(AC 660V)				电流有效值/kA	cosφ	通断次数
		电流/A	电压倍数	电流/A	电压倍数	cosφ				
HR_5^6—100 HR_5^6—200 HR_5^6—400 HR_5^6—630	380	1 000 1 600 3 200 5 040	1.1	800 1 200 2 400 3 780	1.1	0.35	00 1 2 3	50	0.25	各 1 次
HR_5^6—100 HR_5^6—200 HR_5^6—400 HR_5^6—630	660	300 600 1 200 1 890	1.1	300 600 1 200 1 890	1.1	0.65	00 1 2 3	—	—	—

① 隔离器使用场合，额定熔断短路电流 100kA。

表 1-52　HR_5^6 系列熔断器式开关机械寿命及电寿命

型号	机械寿命接通次数/次	电寿命接通次数/次	型号	机械寿命接通次数/次	电寿命接通次数/次
HR_5^6—100	3 000	600	HR_5^6—400	1 000	200
HR_5^6—200	3 000	600	HR_5^6—630	1 000	200

表 1-53　HR_5^6 系列熔断器式开关与熔体电流配用关系

型号	熔断体号码	熔体电流/A
HR_5^6—100	00	4、6、10、16、20、25、32、35、40、50、63、80、100、125、160
HR_5^6—200	1	80、100、125、160、200、250
HR_5^6—400	2	125、160、200、250、300、315、355、400
HR_5^6—630	3	315、355、400、425、500、630

注：用于电动机电路中，允许熔体电流值大于开关约定发热电流。

3. 选用与维护

熔断器组合开关的选用与维护，按照开关与熔断器的特点确定。

四、组合开关

1. 基本结构与应用

组合开关又称为转换开关，在电气控制电路中，常被作为电源引入的开关，可以用来直接起动或停止小功率电动机或使电动机正反转等，也用来控制局部照明电路。组合开关有单极、双极、三极、四极几种，额定持续电流有 10A、25A、60A、100A 等多种。

2. 主要类型

1）HZ10 系列：电气设备中，作不频繁通断电路、换接电源和负载、测量三相电压、控制小功率异步电动机正反转和Y-△起动等，技术数据见表 1-54。

表 1-54　HZ10 系列组合开关技术数据

类型		型号	极数	层数	额定电流/A			
					10	25	60	100
同时通断(J—机床用)		HZ10—□/1	1		√	√	√	√
		HZ10—□/2	2		√	√	√	√
		HZ10—□/3	3		√	√	√	√
		HZ10—□/4	4		√	√	√	√
		HZ10—□/2J	2		√	√	√	
		HZ10—□/3J	3	7	√	√	√	
交替通断,分母第一位数字为起点时的接通路数,第二位数字为通断总路数		HZ10—□/12		2	√	√		
		HZ10—□/13		3	√	√		
		HZ10—□/14		4	√	√		
		HZ10—□/24		4	√	√		
		HZ10—□/25		5	√	√		
		HZ10—□/26		6	√	√		
两位转换(用 P 表示)(“有一位断路”操动机构有限位装置)	有一位断路	HZ10—□P/1	1		√	√	√	√
		HZ10—□P/2	2		√	√	√	√
		HZ10—□P/3	3		√	√		
		HZ10—□P/4	4		√	√		
	有两位断路	HZ10—□P/B1	1		√	√		
		HZ10—□P/B2	2		√	√		
		HZ10—□P/B3	3		√	√		
		HZ10—□P/B4	4		√	√		
	无断路	HZ10—□P/01	1		√	√		
		HZ10—□P/02	2		√	√	√	
		HZ10—□P/03	3		√	√	√	
		HZ10—□P/04	4		√	√		

（续）

类型	型号	极数	层数	额定电流/A			
				10	25	60	100
三位转换(用S表示)	HZ10—□S/1	1	2	√	√		
	HZ10—□S/2	2	4	√	√	√	√
	HZ10—□S/3	3	6	√	√	√	√
四位转换(用G表示)	HZ10—□G/1	1	2	√	√		
	HZ10—□G/2	2	4	√	√		
	HZ10—□G/3	3	6	√	√		
测量三相电压电压表	HZ10—03	3		√			
测量三相四线电压电压表	HZ10—04	4		√			
换接两电阻单接、串联或并联、单接	HZ10—□R2		1	√	√		
换接两电阻并联、单接及串联	HZ10—□R3		2	√	√	√	
换接三电阻单接、双并、三并	HZ10—□R4						
Y—△起动用	HZ10—□X/3	3	6		√	√	
特殊规格	HZ10—□/E6		5	√			
	HZ10—□/E7		5				
	HZ10—□/E8		4	√			
	HZ10—□/E29		4	√			
	HZ10—□/E35		4				
	HZ10—□/E41		3	√			
	HZ10—□/E62		4	√	√	√	

注：√表示有此规格。类型中未注操作机构形式均为无限位。所列规格均可派生为船用及湿热型组合开关。

2）HZ15系列：50Hz、AC 380V或DC 220V线路中，手动不频繁通断、转换交流电路和直流阻性负载电路，技术数据见表1-55。

表1-55　HZ15系列组合开关技术数据

电流种类	使用类别		约定发热电流/A	接通		分断	
				试验电流/A	试验电压/V	试验电流/A	试验电压/V
交流	作配电电器用	AC-20	10	30	420	30	420
		AC-21	25	75		75	
		AC-22	30	190		190	
	作控制电动机用	AC-3	10(3)①	30		24	
			25(5.5)①	55		44	

（续）

电流种类	使用类别	约定发热电流/A	接通			分断		
			试验电流/A	试验电压/V	时间常数（1±1.5%）t/ms	试验电流/A	试验电压/V	时间常数（1±1.5%）t/ms
直流	DC－20 DC－21	10	15	242	1	15	242	1
		25	38			38		
		63	95			95		

① 10A、25A 开关分别控制功率≤1.1kW、2.2kW 的交流电动机时，工作电流分别 3A、5.5A。

3）3ST、3LB（HZW1）系列：50/60Hz、220～600V、额定电流至 63A、控制电动机功率至 22kW；DC 24～600V、控制电流至 15A 电路中，作三相异步电动机起动、变速、换向及主电路和辅助电路转换，技术数据见表 1-56。

4）HZ12 系列电源切断开关：50/60Hz、500V 电路中，作电源通断、直接开闭交流电动机及高感性负载，技术数据见表 1-57。

表 1-56　3ST、3LB（HZW1）系列组合开关技术数据

型号	额定绝缘电压/V	控制 50Hz 三相交流电动机					用于辅助电流开关						
		额定电流（AC-3/AC-23/380V）/A	额定功率/kW				使用类别	额定电流/A			额定通断能力①/kA		
			220V	380V	500V	660V		220V	380V	500V	220V	380V	500V
3ST1	380	8.5	2.2	4	—	—	AC-11	7	6	—	15.4	22.8	—
3LB3(HZW1)—25	660	16.5	4.5	8	11	11		25	10	4	60	42	22
3LB4(HZW1)—40		30	11	15	15	12		32	14	6	77	58	33
3LB5(HZW1)—63		45	18.5	22	22	13		—	—	—	—	—	—

型号	作控制开关(50Hz)						作Y/△转换开关					
	使用类别	额定电流/A	额定功率/kW				使用类别	额定电流（AC-3/AC-23/380V）/A	额定功率/kW			
			220V	380V	500V	660V			220V	380V	500V	660V
3ST1	AC-1 AC-21	10	38	6.5	—	—	AC-3 AC-23	8.5	2.2	4	—	—
3LB3(HZW1)—25		25	9	15.5	20	27		25	5.5	11	15	11
3LB4(HZW1)—40		40	11.5	20	26	35		35	11	15	18.5	12
3LB5(HZW1)—63		63	19	31.5	43	47		45	18.5	22	22	13

（续）

型号	用作单相50Hz负荷开关				用作直流开关							机械寿命/次	电气寿命/次	操作频率/(次/h)
	使用类别	额定电流/A	额定功率/kW		使用类别	额定电流/A								
			220V	380V		24V	60V	110V	220V	440V	600V			
3ST1	AC-1 AC-21	10	2.2	3.8	DC-11	6	3	0.2	0.1	0.04	—	3×10^5	3×10^5	500
3LB3(HZW1)—25		25	5.2	9		15	4.5	1.95	0.6	0.3	0.21	3×10^4	1×10^5	500
3LB4(HZW1)—40		40	8.5	15		15	4.5	1.95	0.6	0.3	0.21	1×10^4	5×10^4	100
3LB5(HZW1)—63		63	13	22		—	—	—	—	—	—	1×10^4	5×10^4	100

① 使用类别 AC-3/AC-23。

表 1-57　HZ12 系列电源切断开关技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	额定分断能力/A	机械寿命/次	门锁机械寿命/次	电寿命/次
HZ12—16	380	16	128	30 000	10 000	10 000（300 次/h）
	500	10	80			
HZ12—25	380	25	200			
	500	12	96			
HZ12—40	380	40	320			
	500	16	128			

五、低压断路器

1. 基本结构与用途

低压断路器是可通断正常负荷电流、过负荷电流、短路电流的开关电器。在电路中有控制和保护功能，如过负荷、短路、欠电压和漏电保护等。按使用类别分为保护装置参数可调和保护装置参数不可调；按灭弧介质分为空气式和真空式；按结构形式分为塑壳外壳式和万能式；按完全断开时间分为一般型和快速型。

低压断路器容量范围为 4～5 000A，广泛用于低压配电系统各级馈出线，电源控制和用电终端的控制和保护。

（1）触头　与断路器主电路分、合机构机械上相连的触头，用于断路器分、合状态显示，接在断路器的控制电路中通过断路器的分合，对相关电

器控制或联锁。万能式断路器有六对触头即三常开、三常闭，DW45 型有八对触头即四常开、四常闭。

（2）脱扣器　分励脱扣器是一种用电压源激励的脱扣器，与主电路电压无关。可实现远距离操纵分闸。当电源电压是额定控制电源电压的70% ~ 110%时，可靠分断断路器。

欠电压脱扣器是在端电压降至某一规定范围时，使断路器有延时或无延时断开，当电源电压低于额定工作电压的 70% ~35% 内，欠电压脱扣器动作；电源电压等于脱扣器额定工作电压 35%时，欠电压脱扣器能防止断路器闭合；电源电压不小于 85%欠电压脱扣器额定工作电压时，在热态条件下，能保证断路器可靠闭合。使用时，欠电压脱扣器线圈接断路器电源侧，欠电压脱扣器通电后，断路器才能合闸。

（3）电动操作机构　用于远距离自动合分断路器，电操机构有电动机构和电磁铁操作机构，两种操作机构吸合和转动方向都是相同，仅由电动操作机构内部凸轮的位置达到合、分；电动机构操作时，在额定控制电压的85% ~110%时，能保证断路器可靠闭合。

（4）释能电磁铁　用于万能式断路器时有电动机预储能机构，按下按钮，电磁铁线圈励励后，电磁铁闭合使储能弹簧释放，断路器合闸。

（5）转动操作手柄　用于塑壳断路器，操作者在门外通过手柄的把手顺时针或逆时针转动，确保断路器的合分闸，转动手柄能保证断路器处于合闸时柜门不能开启；只有转动手柄处于分闸或再扣，开关板的门才能打开。紧急情况下，断路器处于“合闸”而需打开门板时，可按动转动手柄座边上的红色释放按钮。

2. 主要类型

（1）DS12、DS14 系列直流快速　AC 1 500V、额定电流至 6 300A 直流电路中，作短路、过载保护，如保护硅整流机组、晶闸管整流机组和直流电机组。一般为单极，触头系统多采用双断点桥式触头。分为电磁和机械保持式触头闭合方式，所有部件装在一个绝缘框架上，断路器由电磁操作机构实现闭合，用冲击衔铁脱扣器达到快速脱扣，必要时也可用电子式感应斥力脱扣器实现快速脱扣。具有较强的灭弧室，具有吹弧磁轭或吹弧线圈。其技术数据见表 1-58。

（2）万能式断路器　50Hz、额定电流至 4 000A、额定工作电压至 1 140V（壳架等级额定电流超 1 000A）配电中，用于分配电能、供电线路及设备的过载、欠电压和短路保护。壳架等级额定电流至 630A 的断路器也

能在 50Hz、380V 电路中供作电动机过载、欠电压和短路保护。在正常条件下用于线路的不频繁转换，壳架等级额定电流至 630A 的断路器也可用于电动机的不频繁起动。其型号见图 1-10。

表 1-58　DS12、DS14 系列直流快速断路器技术数据

	DS12 系列		DS14 系列	
额定电压/V	DC 800		DC 1500	
额定电流/A	1 000、2 000	3 000、6 000	1 000、2 000	3 200、6 300
整定电流范围	$(0.8\sim2)I_e$			
分断能力/kA($di/dt=3\times10^6$ A/s)	40	50	30	50
全分断时间/ms	≤30	≈20	≤30	≈30
机械寿命/次	5000			
闭合操作动作时间/ms	≈110			
分励操作动作时间/ms	≈30			

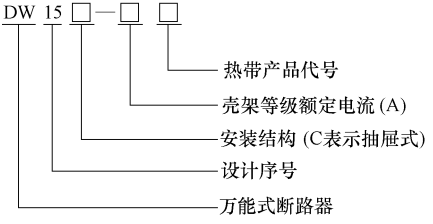


图 1-10　万能式断路器型号

① DW15—200/400/630 万能式。立体布置，触头系统、快速电磁铁、左右侧板均安装在一块绝缘板上，上部装灭弧系统，操作机构可装在正前方或右侧面，有分、合指示及手动断开按钮；左上方装分励脱扣器，背部装有与脱口半轴相连的欠电压脱扣器；速饱和电流互感器或电流电压变换器套在下母线；欠电压延时装置、热继电器或半导体脱扣器均可装在下方。

② DW15—1 000/1 600/2 500/4 000 万能式。立体布置，触头系统、操作机构安装在铁制框架上；上部装灭弧系统，右面装有操作机构。有“通”“断”指示灯及手动“合”“分”按钮；左侧面装有分励脱扣器和欠电压脱扣器；速饱和电流互感器或电流电压变换器套在下母线；欠电压延时装置、热继电器或半导体脱扣器均可装在下方。

③ DW15C 低压抽屉式。由经改装的 DW15 本体和抽屉座组成，本体装有隔离触刀、二次电路动触头、接地触头、支承导轨等；抽屉座由左右侧板、铝支架、隔离触座、二次电路静触头、滑架等组成；正下方由操作摇手

柄、螺杆等组成推拉操作机构。

常用有 DW10 和 DW15 系列、限流型 DWX15 系列和抽屉式限流型 DWX15C 系列。DW15C—200/400/630/1 000/1 600 技术数据同 DW15—200/400/630/1 000/1 600。DW15 系列万能式断路器技术数据见表 1-59，DW16 系列见表 1-60 ~ 表 1-62，DW17 系列见表 1-63 ~ 表 1-66，DW45 系列见表 1-67。

表 1-59　DW15 系列万能式断路器技术数据

断路器壳架额定电流/A				630			1 600	2 500	4 000
极数				3	3	3	3	3	3
断路器额定电流/A	热-电磁型			100 160	315 400	315 400	630 800	1 600 2 000	2 500 3 000
				200	—	630	1 000 1 600	2 500	4 000
	电子型			100 200	200 400	315 400	630 800	1 600 2 000	2 500 3 000
				—	—	630	1 000 1 600	2 500	4 000
额定分断能力/kA	IEC947-2（GB 14048.2—2008）	短路分断	AC 380V	20	30	30	40	60	80
			AC 660V	25	25	25	—	—	—
			AC 1 140V		10	12	—	—	—
断路器机械寿命/次				20 000	10 000	10 000	5 000	5 000	4 000
电寿命（$1I_n$，$1U_e$）/次				2 000	1 000	1 000	500	500	500
AC 380V 保护电动机电寿命（AC-3）/次				4 000	2 000	2 000	—	—	—
过载操作性能（$6I_n$，$1.05U_{emax}$）/次				25	25	25	25	—	—
瞬时分段时间/ms				30	30	30	40	40	40
操作频率/（次/h）				120	60		30	20	10
飞弧距离/mm				280			350		400
操作力臂/mm				90			250		
操作力/N				200			300		

表 1-60　DW16 系列万能式断路器的额定电流

I_{nm}/A	630	2 000	4 000
I_n/A	100、160、200、250、315、400、630	800、1 000、1 600、2 000	2 500、3 200、4 000

表 1-61　DW16 系列万能式断路器的额定工作电压和额定短路分断能力

I_{nm}/A	400V 分断能力/kA	690V 分断能力/kA	飞弧距离/mm	进线方式
630	30/25	20/15	250	上进线
2 000	50/30	30/20	350	上或下进线
4 000	80/50	40/30		

注：分子为额定极限短路分断能力 I_{cu}；分母为额定运行短路分断能力 I_{cs}。

表 1-62　DW16 系列万能式断路器附件的额定电压

名称	额定电压/V	
	AC	DC
欠电压脱扣器 U_e	220、230、380、400	—
分励脱扣器 U_s		110 220
操作电动机 U_s		
辅助触头 U_s	127、220、230、380、400	110

注：U_s为附件额定控制电源电压，U_e为额定工作电压。

表 1-63　DW17 系列万能式断路器的脱扣器、电磁铁与操作电动机的性能

名称	交流，电压/V	直流，电压/V
分励脱扣器	380、220	220、110
欠电压脱扣器		
闭锁电磁铁		
释能电磁铁		
电动机		

表 1-64　DW17 系列万能式断路器过载脱扣器的长延时动作特性

项号	过载电流/脱扣器整定电流	动作时间
1	1.05	>2h，冷态
2	1.2	<2h，热态
3	1.5	<2min，热态
4	6	5s < t < 25s，冷态

注：三相断路器在三相负载时 2 号动作电流可提高 10%，单相负载可提高 20%。短路脱扣器动作电流范围为整定值的 ±20%；用钟表式延时机构（ZZ）延时范围 0 ~ 500ms（连续可调），误差 ±40ms。

表 1-65　DW17 系列万能式空气断路器寿命

型号	机械寿命/次	电寿命/次	抽屉式插入装置的机械寿命/次
DW17—630 ~ 1 605	20 000	1 000	100
DW17—2 000 ~ 3 205	10 000	500	
DW17—4 000/4 005	3 000	120	

表 1-66　DW17 系列万能式空气断路器的通断能力

规格型号	额定交流工作电压/V	660V 时额定分断能力（有效值）/（kA/cosφ）	额定接通能力（AC 660V，峰值）/kA	全分断时间/ms
DW17—630 ~ 1 605	380、660	50/0.25	105	≈30
DW17—2 000 ~ 2 505		60/0.2	130	
DW17—3 200、3 205		80/0.2	180	

表 1-67　DW45 系列智能型万能式断路器技术数据

型号			DW45—2 000					DW45—3 200				
壳架等级额定电流/A			2 000					3 200				
额定电流/A			630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 000	2 500	2 900	3 200
额定工作电压/V			AC 50Hz,400(380),690(660)									
额定绝缘电压/V			AC 50Hz,1 000									
额定极限短路分断能力(有效值)/kA	$\cos\varphi=0.2$,AC400V		80						100			
	$\cos\varphi=0.25$,AC690V		50						65			
额定短路分断能力(有效值,$\cos\varphi=0.25$)/kA	AC 400V		50						80			
	AC 690V		50						65			
额定短时耐受电流(有效值,$\cos\varphi=0.25$)/kA	AC 400V		176						220			
	AC 690V		105						143			
额定短路接通能力(峰值,$\cos\varphi=0.25$)/kA	AC 400V		50						80			
	AC 690V		40						50			
全分断时间(无附加延时)/ms			25 ~ 30									
闭合时间/ms			≤70									
智能型脱扣器	基本型		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	通信型		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
介电性能			AC 50Hz,3 500V,1min									
操作性能/次	电气寿命		500									
	机械寿命	免维护	2 500									
		有维护	10 000									

注：表示带智能型脱扣器。

（3）塑料外壳式　50Hz、380V、额定电流至 63（100）A 电路中作通断操作，用于线路和电动机过载及短路保护，也用于线路不频繁转换及电动机不频繁起动。其型号见图 1-11。操作机构有快合、快分。反时限保护特性较理想。DZ15 系列技术数据见表 1-68，DZ12—60 系列见表 1-69，DZ208 系列见表 1-70 ~ 表 1-72，DZ47—63 系列见表 1-73 和表 1-74，DZ47—100 系列见表 1-75 和表 1-76，DZ48 系列见表 1-77 和表 1-78。

表 1-68　DZ15 系列塑料外壳式断路器技术数据

型号		DZ15—40	DZ15—63(100)
U_i/V		AC 380	
U_e/V		一极:AC 220,二、三、四极:AC 380	
I_{nm}/A		40	63(100)
极数		1、2、3、4	1、2、3、4
I_n/A		6、10、16、20、25、32、40	10、16、20、25、32、40、50、63(80、100)
额定短路分断能力/kA		3	5
寿命/次	有载	1 500	
	无载	8 500	
	总计	10 000	
每小时操作次数/(次/h)	120	120	

表 1-69　DZ12—60 系列塑料外壳式断路器技术数据

极数	额定电流/A	额定电压/V	极限通断能力/kA	保护特性整定温度/℃
1	6、10、15、20、50、60	AC 230/400	3	+40
2	15、20、30、40、50、60			
3				

表 1-70　DZ208 系列塑料外壳式断路器整定电流范围

额定电流 I_n/A	整定电流调节范围/A	额定极限短路分断能力 I_{cu}/kA,额定运行短路分断能力 I_{cs}/kA									
		230/240V		400/415V		440V		500V		690V	
		I_{cu}	I_{cs}	I_{cu}	I_{cs}	I_{cu}	I_{cs}	I_{cu}	I_{cs}	I_{cu}	I_{cs}
0.16	0.1～0.16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	0.16～0.25										
0.4	0.25～0.4										
0.63	0.4～0.63										
1	0.63～1										
1.6	1～1.6										
2.5	1.6～2.5									3	2.5
4	2.5～4										2.25
6.3	4～6.3					50	25	25	50		
10	6～10					15	7.5	7.5	10		
14	9～14			15	7.5	8	4	4	4.5		
18	13～18										
23	17～23	50	50		6	6	3	3	3		
25	20～25										
32	24～32										

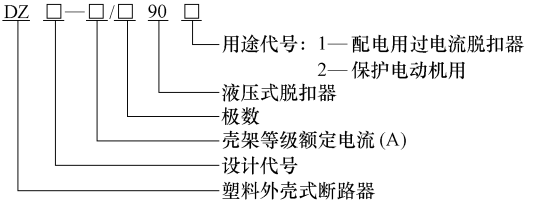


图 1-11　塑料外壳式断路器型号

表 1-71　DZ208 系列断路器所控制三相电动机额定功率

额定电流 I_n/A	额定电流调节范围 I_e/A	三相电动机标准额定功率/kA(AC-3,50Hz/60Hz)					
		230/240V	400V	415V	440V	500V	690V
0.63	0.4~0.63	—	—	—	—	—	0.37
1	0.63~1	—	—	—	0.37	0.37	0.55
1.6	1~1.6	—	0.37	—	0.55	0.75	1.1
2.5	1.6~2.5	0.37	0.75	0.75	1.1	1.1	1.5
4	2.5~4	0.75	1.5	1.5	1.5	2.2	3
6.3	4~6.3	1.1	2.2	2.2	3	3.7	4
10	6~10	2.2	4	4	4	5.5	7.5
14	9~14	3	5.5	5.5	7.5	7.5	9
18	13~18	4	7.5	9	9	9	11
23	17~23	5.5	11				15
25	20~25		11			15	18.5
32	24~32	7.5	15			18.5	26

表 1-72　DZ208 系列断路器瞬时电磁脱扣电流整定值

额定电流 I_n/A	热元件整定电流范围/A	瞬时电磁脱扣电流整定值 I_r/A	额定电流 I_n/A	热元件整定电流范围/A	瞬时电磁脱扣电流整定值 I_r/A
0.16	0.1~0.16	1.5	6.3	4~6.3	78
0.25	0.16~0.25	2.4	10	6~10	138
0.4	0.25~0.4	5	14	9~14	170
0.63	0.4~0.63	8	18	13~18	223
1	0.63~1	13	23	17~23	327
1.6	1~1.6	22.5	25	20~25	327
2.5	1.6~2.5	33.5	32	24~32	384
4	2.5~4	51			

表 1-73　DZ47—63 系列断路器分断能力

额定电流/A	极数	电压/V	额定极限短路分断能力		瞬时脱扣器脱扣电流范围
			分断电流/kA	cosφ	
6、10、16、20、25、32、40	1	240	6 000	0.65~0.7	(5~10)I_n
	2,3,4	400			
50、63	1	240	4 500	0.75~0.8	
	2,3,4	400			

表 1-74　DZ47—63 系列断路器过电流脱扣器保护特性

序号	脱扣器类型	脱扣器额定电流 I_n/A	I/I_n	脱扣时间 t	起始状态	起始状态温度/℃
1	C,D	≤63	1.13	$t \geq 1h$ 不脱扣	冷态	30～50
2			1.45	$t < 1h$ 脱扣	热态	
3		≤32	2.55	$1s < t < 60s$ 脱扣	冷态	
4		>32		$1s < t < 120s$ 脱扣		
5	C	所有值	5	$t \geq 0.1s$ 不脱扣		
	D		10			
6	C		10	$t < 0.1s$ 脱扣		
	D		50			

表 1-75　DZ47—100 系列断路器技术数据

额定电流/A	极数	额定电压/V	额定极限短路分断能力	
			分断电流/A	cosφ
32、50、63、80、100	1	230/240	10 000	0.45～0.50
	2、3、4			
		400		

注：本断路器为嵌入式安装。

表 1-76　DZ47—100 系列断路器过电流脱扣特性

项号	脱扣器额定电流 I_n/A	起始状态	试验电流	规定时间	预期结果	备注
a	所有值	冷态	$1.13I_n$	$t \geq 1h$	不脱扣	
b	≤63	紧接着 a 项试验后进行	$1.45I_n$	$t < 1h$	脱扣	电流在 5s 内稳定地上升到规定值
	>63			$t < 2h$		
c	≤32	冷态	$2.25I_n$	$1s < t < 60s$		
	>32			$1s < t < 120s$		
d	所有值		$7I_n(10I_n)$	$t \geq 0.1s$	不脱扣	括号中数值为 D 型
e			$10I_n(14I_n)$	$t < 0.1s$	脱扣	

表 1-77　DZ48 系列断路器技术数据

额定电流/A	极数	额定工作电压/V	额定短路电流通断能力	
			额定短路通断电流/A	cosφ
6～40	1	250/400	6 000	0.65～0.7
	3	400		
50、63	1	250/400	4 000	0.75～0.8
	3	400		

表 1-78 DZ48 系列断路器过电流脱扣特性

脱扣器额定电流 I_n/A	起始状态	试验电流	规定时间	预期结果	附注
≤63	冷态	$1.31I_n$	$t \geq 1h$	不脱扣	
≤63	紧接着上一项试验后进行	$1.45I_n$	$t < 1h$	脱扣	电流在 5s 内稳定地上升至规定值
≤32	冷态	$2.25I_n$	$1s < t < 60s$		
>32			$1s < t < 120s$		
所有值		$5I_n$	$t \geq 0.1s$	不脱扣	闭合辅助开关接通电流
		$10I_n$	$t < 0.1s$	脱扣	闭合辅助开关接通电流

（4）剩余电流（漏电）保护断路器　50Hz、380V、额定电流至 630A 配电中，作人体触电保护，也可防设备绝缘损坏接地故障电流引起的危险，用于分配电能、保护线路及电源设备的过载和短路，还可作线路不频繁转换。在塑壳式断路器中增加检测剩余电流的电流互感器和剩余电流脱扣器。剩余电流脱扣器采用释放式电磁脱扣器，灵敏度高、动作时间短。DZ20L 系列技术数据见表 1-79，DZ30L 系列见表 1-80 和表 1-81，DZ15LE 系列见表 1-82，DZ47LE 系列见表 1-83，DZL18—20 见表 1-84，DZL25 系列见表 1-85。

表 1-79 DZ20L 系列剩余电流断路器技术数据

产品型号	壳架等级额定电流 I_{nm}/A	额定电压 U_e/V	额定电流 I_e/A	额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$/mA	额定剩余不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA	最大分断时间/s		
						$I_{\Delta e}$	$2I_{\Delta e}$	$5I_{\Delta e}$
DZ20L—160	160	380	50、63、80、100、125、160	50	25	0.2	0.1	0.04
				100	50			
				200	100			
DZ20L—250	250	380	100、125、160、180、200、225、250	50	25			
				100	50			
				200	100			
DZ20L—400	400	380	200、250、315、350、400	50				
				100				
				250				
DZ20L—630	630	380	400、500、630	50				
				100				
				250				

表 1-80　DZ30L 系列漏电断路器技术数据

额定工作电压/V	220	额定漏电动作电流/mA	30
极数	1 + N	额定漏电不动作电流/mA	15
壳架等级额定电流/A	20	额定漏电分断时间/mA	≤0.1
额定电流/A	6、10、16、20		

表 1-81　DZ30L 系列漏电断路器过电流脱扣特性

试验电流/A	额定电压/V	规定时间	预期结果	起始状态	备注	试验电流/A	额定电压/V	规定时间	预期结果	起始状态	备注
$2.55I_n$	所有值	$t \geq 1h$	不脱扣	冷态		$2.55I_n$	所有值	$1 < t < 60s$	脱扣	冷态	闭合辅助开关，接通电源
$1.45I_n$	所有值	$t < 1h$	脱扣	热态	电流在5s内稳定上升至规定值	$5I_n$		$t \geq 0.1s$	不脱扣	冷态	
						$10I_n$		$t < 0.1s$	脱扣	冷态	

表 1-82　DZ15LE 系列漏电断电器技术数据

型号		DZ15LE—40				DZ15LE—63				DZ15LE—100			
额定电压 U_n/V		380											
壳架等级额定电流 I_{nm}/A		40				63				100			
极数		2、3、4											
额定电流 I_n/A		6、10、16、20、25、32、40				32、40、50、63				63、80、100			
额定漏电动作电流 $I_{\Delta n}$/mA（分级可调）		30	50	75	100	30	50	75	100	30	50	75	100
额定漏电不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA（分级可调）		15	25	40	50	15	25	40	50	15	25	40	50
额定极限短路分断能力		3 000/1 000				5 000/1 500				5 000/1 500			
电寿命	有载	1 500											
	无载	8 500											
	总计	10 000											
每小时操作次数/（次/h）		120											

表 1-83　DZ47LE 系列漏电断路器技术数据

壳架等级额定电流 I_{nm}/A	极数	中性线	额定电流 I_n/A	额定短路分断能力			额定漏电动作电流 $I_{\Delta n}$/mA	额定漏电不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA	脱扣器类型
				电压/V	分断能力 I_{cu}/A	$\cos\varphi$			
32	1	N	6、10、16、20、25、32	220	6 000	0.7	30	15	C
	2						50	25	
	3			380			100	50	
	3	N					300	300	
	4								

（续）

壳架等级额定电流 I_{nm}/A	极数	中性线	额定电流 I_n/A	额定短路分断能力			额定漏电动作电流 $I_{\Delta n}$/mA	额定漏电不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA	脱扣器类型
				电压/V	分断能力 I_{cu}/A	cosφ			
32	1	N	6、10、16、20、25、32	220	4 000	0.8	30	15	D
	2						50	25	
	3			380			100	50	
	3	N					300	150	
	4								
50	1	N	40、50	220	60 000	0.8	30	15	C
	2								
	3			380			50	25	
	3	N					100	50	
	4						300	150	

表 1-84　DZL18—20 漏电断路器技术数据

型号	DZL18—20/1-1	DZL18—20/2-1	DZL18—20/1-2	DZL18—20/2-2
额定电压 U_e/V	AC 220			
额定电流 I_{nm}/A	20	10、16、20	20	10、16、20
极数	2			
额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$/mA	30、15、10			
额定剩余不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA	15、7.5、6			
过电压动作值/V	—		(280±5)%	
额定剩余接通分断能力 I_{cu}/A	500			

表 1-85　DZL25 系列漏电断路器技术数据

型号	壳架等级额定电流 I_{nm}/A	额定电压 U_n/V	额定频率/Hz	额定电流 I_n/A	额定极限分断能力/kA	额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$/mA	额定剩余不动作电流 $I_{\Delta no}$/mA
DZL25—32	32	380	50	10、16、20、25、32	3	15/30/50	8/15/25
DZL25—32	63	380		25、32、40、50、63	5	30/50/100/50/100/200 分级可调	15/25/50
DZL25—32	100	380		40、50、63、80、100	6	50/100 不可调	25/50/100
	100	380				50/100/200，100/200/500	25/50
DZL25—32	200	380		100、125、160、180、200	10	50/100/200、100/200/500 两档分级可调	25/50/100、50/100/250
	200	380			10	100/200 不可调	50/100

（5）装置式低压断路器

① BM 系列小型塑料外壳式。50/60Hz、240/415V、额定电流至 63A 配电中，作建筑物、类似场所线路设施和电气设备过负荷和短路保护，技术数据见表 1-86。

表 1-86　BM 系列小型塑料外壳式断路器技术数据

型号	额定电流/A	额定电压	极数	脱扣器类型	额定极限短路分断能力	
					分断电流/A	cosφ
BM—100	63	230	1	C、D	10 000	0.45～0.5
	80		2、3、4			0.2～0.25
	100	400				0.45～0.5
BM—63	6、10、16、20、25、32、40	230	1、2		6 000	0.65～0.7
		230/400	2、3、4			
	50、63				4 000	0.75～0.8
BMN—32	6、10、16、20、25、32	230	1＋N	C	4 500	0.65～0.7

② C45、DPN、NC100 系列小型塑料外壳式。50/60Hz、240/415V 电路中，作线路、照明及动力设备的过载、短路保护及线路、设备的通断转换，也可用于直流电路，技术数据见表 1-87。

表 1-87　C45、DPN、NC100 系列断路器技术数据

型号	极数	额定电压/V	额定电流 I_n/A	额定短路分断能力/kA	瞬时脱扣器形式及脱扣电流	连接导线最大截面积/mm²	寿命/次
C45N	1、2、3、4	240/415	1、3、6、10、16、20、25、32、40	6	C 型（5～10）I_n	25	20 000
			50、63	4.5			
C45AD			1、3、6、10、16、20、25、32、40	4.5	D 型（10～14）I_n		
DPN	2（1P＋N）	240	3、6、10、16、20	4.5	C 型（5～10）I_n		
NC100H	1、2、3、4	240/415	50、63	10①	C 型（5～10）I_n	35	
			80、100		D 型（10～14）I_n	50	
NC100LS	3、4		40、50、63	36①	D 型（10～14）I_n	35	

① 额定极限短路分断能力 I_{cu}。

③ C65 微型断路器。50/60Hz、230/400V 系统中，作照明和动力设备过负荷和短路保护，通断不频繁起动的线路及设备，技术数据见表 1-88，C65H 系列断路器可用于电压至 250V 直流系统，选用方法见表 1-89；C65

系列断路器电气附件的选用方法见表 1-90。

表 1-88　C65 系列断路器技术数据

型号	极数	额定电压/V	额定电流/A	分断能力/kA	脱扣特性	接导线最大截面积/mm^2
C65N	1、2、3、4	440	1、2、4、6、10、16、20、25、32、40、50、63	6	C 型（5～10）I_n	1～25A：25 25～63A：35
C65H				10	D 型（10～14）I_n	

表 1-89　C65H 系列断路器选用方法

额定电流/A	直流分断能力/kA		
	AC 24/48V	AC 125V	AC 250V
1～63	20（1 极）	25（2 极）	50（4 极）
		40（3 极）	

表 1-90　C65 系列断路器电气附件的选用方法

电气辅件名称	代号	技术数据	安装位置
辅助触头	OF	AC，415V/3A、240V/6A DC，130V/1A、48V/2A、24V/6A	断路器左侧，拼装多个辅件时，总宽度不大于 54mm
故障报警触头	SD		
双重切换触头	OF＋SD/OF		
分励脱扣单元	MX＋OF	AC，415V、220～240V AC/DC，110～130V、48V、24V、12V	
欠电压脱扣单元	MN	AC，220～240V、AC/DC，48V	
延时欠电压脱扣单元	MNS	AC，220～240V，AC/DC，48V，延时 0.2s	

3. 选用与维护

（1）选用原则

1）一般低压断路器：

① 额定工作电压≥线路额定电压。

② 额定负荷能力≥线路计算负载电流。

③ 额定短路通断能力≥线路中可能出现的最大短路电流（有效值）。

④ 线路末端单相对地短路电流≥1.25 倍断路器瞬时（或短延时）脱扣整定电流。

⑤ 断路器欠电压脱扣器额定电压＝线路额定电压；分励脱扣器额定电压＝电源电压。

⑥ 电动传动机构额定工作电压＝控制电源电压；照明电路时，电磁脱扣器瞬时整定电流取负载电流的 6 倍。

2）瞬时脱扣器整定电流的选用：

① 长延时动作电流整定值 =（0.8 ~ 1.0）导线容许电流值。

② 3 倍长延时动作电流整定值的可返回时间≥网络中最大起动电流电动机起动时间。

③ 延时动作电流整定值≥1.1（I_{jx} + 1.35kI_{nDm}），I_{jx}为电路计算负载电流；k 为电动机启动电流倍数；I_{nDm}为最大一台电动机额定电流。

④ 延时时间按被保护对象的热稳定校核。

⑤ 无短延时时，瞬时电流整定值≥1.1（I_{jx} + k_1KI_{nDm}），k_1 = 1.7 ~ 2，电动机起动电流冲击系数。有短延时时，瞬时电流整定值≥1.1 倍下级开关进线端计算短路电流。

3）用于电动机保护：

① 长延时电流整定值 = 电动机额定电流。

② 6 倍长延时电流整定值可返回时间≥电动机实际起动时间。

③ 瞬时整定电流 I_{sz}：笼型 I_{sz} =（8 ~ 15）I_{nT}；绕线转子 I_{sz} =（3 ~ 6）I_{nT}；I_{nT}为脱扣器额定电流。

4）用于照明：长延时整定值≤计算负载电流；瞬时整定值 = 6 倍计算负载电流。

5）用作开关：配电变压器低压侧总开关时，分断能力大于变压器低压侧短路电流，脱扣器额定电流不小于变压器额定电流，短路保护整定电流等于变压器的（6 ~ 10）I_e；过载保护整定电流等于变压器额定电流；作单台电动机短路保护时，瞬时脱扣器的整定电流为电动机起动电流的 1.35 倍（DW 系列）或 1.7 倍（DZ 系列）；作多台电动机短路保护时，瞬时脱扣器整定电流为 1.3 倍最大一台电动机起动电流与其余电动机工作电流之和。

断路器选定与上、下级开关保护特性配合，以免越级跳闸。

选择剩余电流保护断路器时，断路器部分条件和一般断路器相同，漏电保护脱扣器部分应选择合适的漏电动作电流；应注意剩余电流保护断路器的触头类型，一类触头可短路分断，能过载和短路保护；另一类触头只能分断额定电流和漏电电流，选择这一类剩余电流保护断路器时，应另行考虑短路保护。

（2）具体选择

① 断路器类型。如框架式、塑料外壳式、限流式等。

② 按保护要求。若额定电流至 600A、短路电流不大，但要求有过载延时、短路瞬时保护特性，可选塑料外壳式；塑料外壳式不带失电压脱扣器，若有此项要求，可选其他类型，如选框架式，应注意一般产品兼有过载和短

路保护、瞬时动作式，只有 DW15 系列等才组合有三段式保护。数字式带智能保护的框架式，性能较理想。

③ 根据最大短路电流选择。断路器极限分断能力不小于线路最大短路电流。

④ 根据额定电压和电流确定容量等级，负载允许长期平均电流选择。若电流 200A，脱扣器额定电流应选 200A，但脱扣器电流等级有多个，如 DW10 系列可选 DW10—200 型或 DW10—400 型，如线路重要且短路概率大，则选 DW10—400 型。

⑤ 特大型变压器或两台较大容量变压器附近装有额定电流较小的低压断路器时，必须考虑分断能力，如不够时加装限流型。

⑥ 电动机不需频繁起动且线路易发生断相，选塑料外壳式代替磁力起动器和熔断器组合，如考虑成本可用刀开关和熔断器组合。

（3）安装和使用　垂直安装，上下导线端必须用规定截面积导线或母线连接；灭弧罩完好；过电流脱扣器整定后不得更动；触头长期工作电流不大于开关额定电流；分断短路电流以后，切除上一级电源及时检查触头，可用砂纸或细锉修整；安装使用前抹去脱扣器电磁铁工作面的油脂，检查脱扣器电流整定值；若触头表面粗糙或熔化毛糙，及时修整；当触头被磨损至原厚度 1/3 时，更换触头，对磨损触头需检查触头压力、开距、超行程及操作系统，定期清除尘垢；定期检查脱扣器动作值；闲置再用前，清除灰尘并测量绝缘。

（4）常见故障及处理　见表 1-91。

表 1-91　低压断路器常见故障及处理

故障现象	分析	处理
手操开关不能合闸	①失电压脱扣器无电压或线圈电压不符 ②失电压脱扣器线圈损坏 ③储能弹簧变形，以致闭合力不足 ④释放弹簧的反作用力太大 ⑤机构不能复位再扣	①查明原因，作适当处理 ②能修则修，不能修则更换新线圈 ③更换新的弹簧 ④适当调整，若不能调整，则更换新的弹簧 ⑤调整脱扣面至规定值
自动操作开关不能合闸	①操作电源电压不符合要求 ②电磁铁或电动机损坏 ③电磁铁行程不够 ④电动机操作定位开关失灵 ⑤控制器中整流管或电容器损坏 ⑥电源容量不够	①检查电源 ②修理或处理 ③调整或更换拉杆 ④调整或更换开关 ⑤更换 ⑥检查并更换

（续）

故障现象	分析	处理
断路器一相触头不能闭合	①该相连杆损坏 ②限流开关机构可使连杆之间的角度变大	①更换连杆 ②调整到170°
断路器在起动电动机时自动分闸	①电磁式过电流脱扣器瞬动整定电流太小 ②空气式脱扣器的阀门失灵或橡胶膜破裂	①调整电磁式脱扣器的瞬时脱扣器整定弹簧 ②检查空气式脱扣器，查明原因后作适当处理
断路器在工作一段时间后自动分闸	①过电流脱扣器长延时整定值不符合要求 ②热元件或半导体延时电路元件老化 ③半导体脱扣器误动作	①重新调整 ②更换新元件 ③查明误触发的原因后作适当处理
失电压脱扣器有噪声或振动	①线圈型号的电压不符 ②铁心工作面有污垢 ③短路环断裂 ④反力弹簧的反作用力太大	①更换线圈，符合电压等级 ②清除污垢 ③更换衔铁或铁心 ④更新调整或更换弹簧
触头温升过高	①接触表面过分损坏或触头磨损过度 ②接触压力太小 ③两导电零件连接处的螺钉松动	①修整接触表面，或更换触头甚至更换整台开关 ②调整或更换触头弹簧 ③将螺钉拧紧
分励脱扣器失灵，开关不能分闸	①线圈电压不符或损坏 ②电源电压太低 ③脱扣面太大 ④螺钉松动	①更换线圈 ②更换电源或升高电压 ③调整脱扣面 ④将螺钉拧紧
失电压脱扣器失灵，开关不能分闸	①反力弹簧的反作用力太小 ②如属储能释放，则储能弹簧力太小 ③机构卡死	①调整或更换 ②调整或更换 ③查明原因后作适当处理
辅助触头不能闭合	①动触桥卡死或脱落 ②传动杆断裂或滚轮脱落	①查明原因后进行调整或重装 ②更换已损坏零件或整个辅助触头部件

六、接触器

1. 基本结构与用途

可远距离频繁通断交直流大容量的电器，分交流和直流接触器两种，应用于电力、配电与用电。利用线圈流过电流产生磁场，使触头闭合，实现控

制负载的功能。接触器由电磁机构、触头和灭弧装置等组成。可快速切断交流与直流主电路，可频繁通断大电流电路，适用于频繁操作和远距离控制，电流在 5 ~ 1 000A。主触头一般常开，辅助触头有常开和常闭。交流接触器的触头由银钨合金制成，导电性和耐高温烧蚀性良好。20A 以上接触器有灭弧罩，快速拉断电弧，保护触头；最高操作频率达每小时1 200次；机械寿命数百万次至一千万次，电寿命数十万次至数百万次。

① 真空接触器，触头系统采用真空消磁室。

② 半导体接触器，通过改变电路的导通和断路状态实现电流操作。

③ 永磁接触器，利用磁性原理，永磁驱动机构取代电磁铁驱动。

接触器可控制电热、照明、电容器组等负载。铭牌额定电压是指主触头的额定电压；铭牌额定电流是指主触头的额定电流；通断能力是主触头在规定条件下可靠通断的电流值；线圈额定电压是长期安全工作的最大电压；额定操作频率是每小时操作次数。使用类别见表 1-4。

2. 交流接触器

（1）CKJ5 系列交流真空接触器　50Hz、额定电压至1 140 V、额定电流至 250A、400A、600A 电力系统中，远距离通断电路及频繁起动交流电动机，电弧不外露，可与保护装置组成防爆型电磁起动器。其型号见图 1-12。主电路接通 $10I_e$，通断 $8I_e$；极限分断能力，4 500 A（250、400A），6 000 A（600A）；电寿命 360 万次；机械寿命 300 万次，其中真空灭弧室大于 100 万次，主要技术数据见表 1-92。

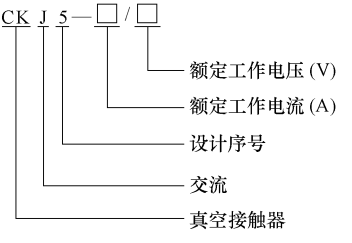


图 1-12　CKJ5 系列交流真空接触器型号

表 1-92　CKJ5—250 系列交流真空接触器控制电路主要技术数据

控制电压/V	控制电源容量/V · A	维持功率/W	辅助触头容量	
			交流/V · A	直流/W
36	250	22	AC 200	DC60
127		15	AC 300	DC60
220		20		
380		20		

（2）CKJ15、CKJ16 系列交流真空接触器　50Hz、额定电压至1 140 V、额定电流至 600A 电路中，远距离通断电气设备和线路，可频繁起动、控制

电动机，可组合成磁力起动器、防爆磁力起动器，技术数据见表 1-93。

表 1-93　CKJ15、CKJ16 系列交流真空接触器技术数据

型号		CKJ6—100	CKJ6—125	CKJ5—250	CKJ5—400	CKJ5—600
主电路极数		3				
额定工作电压/V		660、1 140				
额定工作电流/A		100	125	250	400	600
额定通断能力/(次/A)	接通	1 000/100	1 250/100	2 500/100	4 000/100	6 000/100
	分断	1 000/25	1 250/25	2 000/25	3 200/25	4 800/25
3 次极限分断能力/A		2 500		4 500		6 000
控制方式		电磁式				
控制电压/V	AC(50Hz)	36、220		36、110、220、380		
	DC	—		220		
额定工作制		8h 工作制、不间断工作制、持续周期工作制		8h 工作制、断续周期工作制		
通电持续率(%)		40				
操作频率/(次/h)	AC-3	300		600		
	AC-4	120		120		
电寿命/万次	主触头	AC-3:30 AC-4:6		AC-3:60		
	辅助触头	AC-11 DC-11	30	AC-11 DC-11		30
机械寿命/万次		300				

（3）CJ 系列交流　50Hz、660V（或1 140V）、电流至 630A 电路中，远距离频繁通断电路及控制交流电动机，可与热继电器组成电磁起动器。CJ 系列交流接触器型号见图 1-13。CJ20 系列为直动式、双断点、立体布置。CJ20—10～25 不带灭弧系统，方便安装于 IEC 标准 35mm 宽帽形安装轨。CJ20—40 及以上为两层布置正装式结构，主触头和灭弧室在上，电磁系统在下，两只独立辅助触头组件布置在两侧。全系列根据容量等级配套灭弧结构，CJ20—10 和 CJ20—16 为双断点开断灭弧室，CJ20—25 为 U 形铁片灭弧，CJ20—40～160 在 380、660V 时为多纵缝陶土灭弧罩，CJ20—250 及以上接触器在 380V 时用多纵缝陶土灭弧罩，660V 时用栅片灭弧罩，1 140V 时均用栅片灭弧罩。全系列用银基合金触头。CJ20—40 及以下接触器电磁系统用双 E 形铁心、迎击式缓冲；CJ20—63 及以上用 U 形铁心，硅橡胶缓冲。

CJ20—10 辅助触头有 4 闭、3 闭 1 开、2 开 2 闭、1 闭 3 开、4 开等。常用有 CJ20、CJ12、CJ24 系列等，CJ20 系列技术数据见表 1-94，CJ24 系列技术数据见表 1-95～表 1-97。

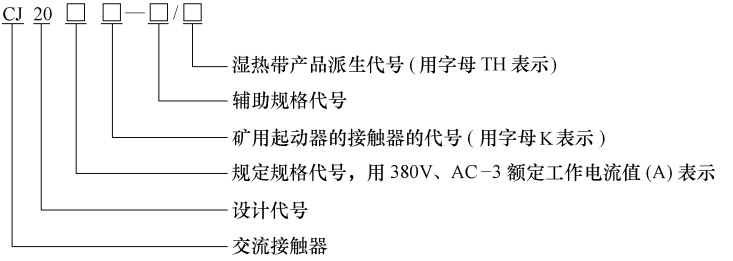


图 1-13　CJ 系列交流接触器型号

表 1-94　CJ20 系列交流接触器技术数据

型号	额定绝缘电压/V	额定工作电压 U_e/V	约定发热电流 I_{th}/A	额定工作电流(AC-3)/A	额定控制功率/kW	额定操作频率(AC-3)/(次/h)	动作特性	线圈功率 起动	线圈功率 吸持
CJ20—10	660	220	10	10	2.2	1 200	吸合电压：(0.85～1.1)U_s；释放电压(0.2～0.75)U_s	65V·A/47.6W	8.3V·A/2.5W
		380			4				
		660		5.2	4	600			
CJ20—16		220	16	16	4.5	1 200		62V·A/47.8W	8.5V·A/2.6W
		380		16	7.5				
		660		13	11	600			
CJ20—25		220	32	25	5.5	1 200		93.1V·A/60W	13.9V·A/4.1W
		380		25	11				
		660		14.3	13	600			
CJ20—40		220	55	40	11	1 200		175V·A/82.3W	19V·A/5.7W
		380		40	22	1 200			
		660		25	22	600			
CJ20—63	660	220	80	63	18	1 200	吸合电压(0.8～1.1)U_s；释放电压(0.2～0.7)U_s	480V·A/153W	57V·A/16.5W
		380		63	30				
		660		40	35	600			
CJ20—100		220	125	100	28	1 200		570V·A/175W	61V·A/215W
		380			50				
		660		63	50	600			
CJ20—160		220	200	160	48	1 200		855V·A/325W	
		380		160	85				
		660		100	85	600			
CJ20—160/11	1 140	1 140	200	80	85	300			

（续）

型号	额定绝缘电压/V	额定工作电压 U_e/V	约定发热电流 I_{th}/A	额定工作电流(AC-3)/A	额定控制功率/kW	额定操作频率(AC-3)/(次/h)	动作特性	线圈功率 起动	线圈功率 吸持
CJ20—250	660	220	315	250	80	600	吸合电压：(0.85～1.1)U_s；释放电压(0.2～0.75)U_s	1 710V·A/565W	152V·A/65W
		380		250	132	600			
CJ20—250/06		660		200	190	300			
CJ20—400		220	400	400	115	600			
		380		400	200				
CJ20—400/06		660		250	220	300			
CJ20—630		220	630	630	175	600		3 578V · A/790W	
		380		630	300				
CJ20—630/06		660	400	400	350	300			
CJ20—630/11	1 140	1 140			400	120			

表 1-95　CJ24 系列交流接触器技术数据

型号	频率/Hz	额定绝缘电压/V	额度工作电压/V	约定发热电流/A	断续周期工作制下的额定工作电流/A AC-1、AC-2、AC-3	断续周期工作制下的额定工作电流/A AC-4	备注
CJ24—100	50	3	380	100	100	40	普通型
			660		63		
CJ24—160			380	160	160	63	
			660		80		
CJ24—250			380	250	250	100	
			660		160		
CJ24—400			380	400	400	160	
			660		250		
CJ24—630			380	630	630	250	
			660		400		

表 1-96　CJ24 系列交流接触器的操作次数

使用类别	产品型号	操作次数/(次/h)	3 极接触器允许最高操作次数/(次/h)
AC-2	CJ24—100～CJ24—250 CJ24Y—100～CJ24Y—250	600	1 200
	CJ24—400～CJ24—630 CJ24Y—400～CJ24Y—630	300	600

表 1-97　CJ24 系列交流接触器辅助触头种类、数量及基本参数

约定发热电流/A	额定绝缘电压/V	控制容量 交流/V·A AC-15	控制容量 直流/W DC-13	额定工作电压 U_e/V/额定工作电流 I_e/A 交流	额定工作电压 U_e/V/额定工作电流 I_e/A 直流	触头种类与数量			
10	380	1 000	90	36/10	48/1.88	常开	2	3	4
				127/7.87	110/0.82				
				220/4.55	220/0.41	常闭	4	3	2
				380/2 063	—				

（4）CJ12 系列　50/60Hz、1 000V、额定电流至4 000A 电路中，远距离通断电路，并用于交流电动机频繁起动和开断，技术数据见表 1-98。

表 1-98　CJ12 系列交流接触器技术数据

型号	额定电压 U_n/V	额定电流 I_n/A	极数	控制电动机最大功率/kW	通断电流($\cos\varphi=0.5$) 接通100次	通断电流($\cos\varphi=0.5$) 分断20次	操作频率/(次/h) 额定容量时	操作频率/(次/h) 额定降容时	电寿命(AC-2类)/万次	机械寿命/万次	10s 热稳定电源	动稳定电流峰值	辅助触头额定电流/A
CJ12—100	380	100	2.3 4.5	50	12 I_e	10 I_e	600	2 000	15	300	≥7I_e	≥20I_e	10
CJ12—150		150		75									
CJ12—250		250		125	10 I_e	8 I_e	300	1 200	10	200			
CJ12—400		400		200									
CJ12—600		600		300									
CJ12—100Z		100		50	12 I_e	10 I_e	600	2 000	15	300			
CJ12—150Z		150		75									
CJ12—250Z		250		125	10 I_e	8 I_e	300	1 200	10	200			
CJ12—400Z		400		200									
CJ12—600Z		600		300									

（5）CJ17 系列　50/60Hz、电压至5 000V、电流至 32A 电路中，远距离通断电路，用于交流电动机频繁起停，技术数据见表 1-99。

表 1-99　CJ17 系列交流接触器技术数据

型号	额定电压 U_e/V	额定电流 I_n/A 主触头	额定电流 I_n/A 辅助触头	吸引线圈电压/V	机械寿命/万次	电寿命/万次	控制功率/kW 220V	控制功率/kW 380V	控制功率/kW 500V
CJ17—9	380	9	4	24、36、110、220、380	>600	>100	3.5	4	—
CJ17—16	500	16	—	36、110、220、380、500		>60	4	7.5	7.5
CJ17—32		32	—	36、110、220、380	>300		11	15	11

（6）CJ18 系列　50/60Hz、380V 电路中，供远距离通断，用于交流电动机频繁起停，技术数据见表 1-100。

表 1-100　CJ18 系列交流接触器技术数据

型号	线圈额定电压 U_e/V	机械寿命/万次	电寿命(AC-4)/万次	控制功率/kW		线圈消耗功率/W		备注
				220V	380V	起动	吸持	
CJ18—5	36	>600	4	1.5	2.2	35	6	由 2 只 5A 交流接触器合
CJ18—10	110 220 380			2.2	4	65	11	由 2 只 10A 交流接触器合

（7）CJ16、CJ19 系列切换电容器接触器　50Hz、500V 电路中，作低压无功功率补偿设备投入或切除低压并联电容器，技术数据见表 1-101。

表 1-101　CJ16、CJ19 系列切换电容器接触器技术数据

型号			CJ16—25	CJ16—32	CJ16—40	CJ16—63	CJ19—25	CJ19—32	CJ19—43	CJ19—63
额定绝缘电压/V			500				750			
额定工作电压/V			380				500			
约定发热电流/A			25	32	40	63	25	32	43	63
AC-6b 时额定控制电容器容量/kvar	230V		12	16	20	30	6	9	10	15
	400V						12	18	20	30
	525V									
	690V									
线圈额定电压(50Hz)/V			36、110、127、220、380				24、36、48、110、127、220、380、415、500			
线圈工作电压允许范围/V			在额定电压的 85% ~110% 时能可靠工作							
线圈消耗功率/V·A	吸合时		12			24	12			
	起动时		80		82	96	68			
抑制电容器合闸涌流的能力/A			≤20I_e(电容器额定电流)							
辅助触头	额定工作电流/A		6				6			4
	触头对数	常开	1	0		2	1	0	2	2
		常闭	1	2		0	1	2	0	2
电寿命/万次			10							
机械寿命/万次			100							
额定操作频率/(次/h)			90							
短路保护配置 RT19 型 aM 类熔断器额定电流/A	主电路		(1.5~2.5)I_e							
	控制电路 RT19 型 gF 类		16							

（8）CJ20 系列交流接触器　50Hz、660V 或1 140V、电流至 630A 电路中，远距离通断电路与频繁起动、控制三相交流电动机，与保护装置可组合成电磁起动器，技术数据见表 1-102。

表 1-102　CJ20 系列交流接触器技术数据

型号	额定绝缘电压/V	额定工作电压/V	约定发热电流/A	AC-3 时额定工作电流/A	AC-3 时控制功率/kW	AC-3 时额定操作频率/(次/h)	与 NT 系列熔断器配合型号	线圈电压(V)及频率	线圈耗功 起动	线圈耗功 吸持	AC-3 时电寿命/万次
CJ20—10	660	220	10	10	2.2	1 200	NT00—20	AC,50Hz:36、127、220、380、DC:48、110、220	65V·A/47.6W	8.3V·A/2.5W	100
		380		10	4						
		660		5.8	4	600					
CJ20—16		220	16	16	4.5	1 200	NT00—32		62V·A/47.8W	8.5V·A/2.6W	
		380			7.5						
		660		13	11	600					
CJ20—25		220	32	25	5.5	1 200	NT00—52		93.1V·A/60W	13.9V·A/4.1W	
		380			11						
		660		14.5	13	600					
CJ20—40		220	55	40	11	1 200	NT00—80		175V·A/82.3W	19V·A/5.7W	
		380			22						
		660		25	22	600					
CJ20—63		220	80	63	18	1 200	NT1—160		480V·A/153W	57V·A/16.5W	120
		380			30						
		660		40	35	600					
CJ20—100		220	125	100	28	1 200	NT1—250		570V·A/175W	61V·A/21.5W	
		380			50						
		660		63		600					
CJ20—160		220	200	160	48	1 200	NT2—315		855V·A/325W	85.5V·A/34W	
		380			85						
		660		100		600					
CJ20—160/11	1 140	1 140	200	80		300					
CJ20—250		220	315	250	80	600	NT2—400		1 710V·A/565W	152V·A/65W	60
		380			132						
		660		200	190	300					
CJ20—400		220	400	400	115	600	NT2—500		3 578V·A/790W	250V·A/118W	
		380			200						
		660		250	220	300					
CJ20—630		220	630	630	175	600	NT3—630		3 578V·A/790W	250V·A/118W	
		380			300						
		660	400	400	350	300					
CJ20—630/11	1 140	1 140	400	400	400	120	NT3—630				

（9）CJ24 系列转动式交流接触器　50Hz、660V、额定电流 100～630A 电路中，作轧钢及起重机等电气设备远距离频繁通断电路和起动、停止、反向及反接制动电动机，技术数据见表 1-103、表 1-104。

表 1-103　CJ24 系列转动式交流接触器技术数据

型号		CJ24—100 CJ24Y—100		CJ24—160 CJ24Y—160		CJ24—250 CJ24Y—250		CJ24—400 CJ24Y—400		CJ24—630 CJ24Y—630	
极数		2、3、4、5									
额定电压/V		380	660	380	660	380	660	380	660	380	660
额定电流/A		100	50	160	80	250	140	400	230	630	360
额定操作频率/(次/h)		600						300			
机械寿命/万次		600						300			
AC-2 时电寿命/万次	普通型	18						12			
	冶金型	24						15			
线圈额定电压/V		50Hz,36、127、220、380、660;DC24、36、48、110、220									
吸引线圈消耗功率	起动/V·A	2、3 极,920 4 极,1 200		1 450		2 100		4 000		3 极 5 600 4 极 9 900	
	吸持/W	2、3 极,22 4 极,34		30		45		70		3 极 80 4 极 86	

表 1-104　CJ24 系列转动式交流接触器辅助触头技术数据

额定电压/V	额定电流/A	辅助触头组合		操作频率/(次/h)	电寿命/$\times10^5$次	机械寿命/$\times10^5$次	备注
		常开	常闭				
AC380 或 DC220	10	1 2 3 4 5	5 4 3 2 1	1 200	3	30	直流线圈,需占用一对动断,辅助触头,剩下 5 对辅助触头

（10）CJ40 系列交流接触器　50/60Hz、1 140V、电流至 800A 电路中，远距离通断电路，并适用于交流电动机频繁起停，技术数据见表 1-105。

表 1-105　CJ40 系列交流接触器技术数据

型号	框架代号	额定绝缘电压 U_i/V	额定工作电压 U_n/V	约定发热电流 I_{th}/A	断续周期工作制下额定电流 I_n/A			AC-3 类控制的功率/kW	不间断工作制下的额定电流 I_n/A
					AC-1 类负荷	AC-2 及 AC-3 类负荷	AC-4 类负荷		
CJ40—630	800	690	220	630	630	630	630	200	630
			380				500	335	
			660			500	500	475	
CJ40—800			220	800	800	800	800	250	800
			380				630	450	
			660			500	500	475	

（续）

型号	框架代号	额定绝缘电压 U_i/V	额定工作电压 U_n/V	约定发热电流 I_{th}/A	断续周期工作制下额定电流 I_n/A			AC-3 类控制的功率/kW	不间断工作制下的额定电流 I_n/A
					AC-1 类负荷	AC-2 及 AC-3 类负荷	AC-4 类负荷		
CJ40—125/11	125	1 140	1 140	125	125	40	40	55	125
CJ40—250/11	250			250	250	80	80	110	250
CJ40—500/11	500			500	500	160	160	220	500
CJ40—800/11	800			800	800	250	250	400	800
CJ40—63	125	690	220	80	80	63	63	18.5	80
			380					30	
			660					55	
CJ40—80			220			80	80	22	
			380					37	
			660			63	63	55	
CJ40—100			220	125	125	100	100	30	125
			380					45	
			660			80	80	75	
CJ40—125			220			125	125	37	
			380			125	110	55	
			660			80	80	75	
CJ40—160	250	690	220	250	250	160	160	45	250
			380					75	
			660			125	125	110	
CJ40—200			220			200	200	55	
			380					90	
			660			125	125	110	
CJ40—250			220			250	250	75	
			380					132	
			660			125	125	110	
CJ40—315	500	690	220	500	500	315	315	90	500
			380				250	160	
			660				250	300	
CJ40—400			220			400	400	110	
			380				315	220	
			660			315	315	300	
CJ40—500			220			500	500	150	
			380				400	280	
			660			315	315	300	

3. 直流接触器

（1）CZ0 系列　控制直流电动机，吸合冲击小、噪声小，适于电动机频繁起停、换向或反接制动。额定电流至 150A 接触器是立体布置整体式结构，有沿棱角转动拍合式电磁系统，双断点常闭主触头，线圈用串联双绕组结构。组合桥式双断点辅助触头固定在主触头绝缘基座一端两侧。250A 及以上是平面布置整体式结构，用沿棱角转动拍合式电磁系统及串联双绕组吸引线圈，单断点结构主触头由整块镉铜制成，组合桥式双断点辅助触头固定在磁轭背上。全系列板前接线，不带底板。其技术数据见表 1-106。

表 1-106　CZ0 系列直流接触器技术数据

型号	额定电流/A	额定电压/V	主触头数量		辅助触头数量		辅助触头额定电流/A	额定操作频率/(次/h)	操作线圈功率/W	额定控制电源电压/V
			常开	常闭	常闭	常闭				
CZ0—40/20	40	440	2		2	2	5	1 200	23	220 110 48 24
CZ0—40/02				2				600	24	
CZ0—100/10	100		1					1 200	24	
CZ0—100/01				1				600	180/27	
CZ0—100/20			2					1 200	33	
CZ0—150/10	150		1					1 200	33	
CZ0—150/01				1				600	310/21	
CZ0—150/20			2					1 200	41	
CZ0—250/10	250		1		5 开、1 闭与 5 闭、1 开之间任意组合		10	600	220/36	220 110
CZ0—250/20			2						292/48	
CZ0—400/10	400		1						350/30	
CZ0—400/20			2						430/49	
CZ0—600/10	600		1						320/60	

注：分子为线圈吸合功率、分母为吸持功率；CZ0—40 串联磁吹线圈额定电流分 1.5A、2.5A、5A、10A、20A 和 40A 等。

（2）CZ2 系列直流　DC600V、电流2 500A，作远距离通断电路，频繁起停、控制直流电动机换向或反接制动，技术数据见表 1-107。

表 1-107　CZ2 系列直流接触器技术数据

型号	额定电压 U_n/V	额定电流 I_n/A	额定控制电压 U/V	最大操作频率/(次/h)	接通时间/s	分断时间/s
CZ2—2 500 CZ2—2 500A	DC600	2 500	220、110	240	0.5 0.26	0.15 0.12

（3）CZ10 系列　DC 1 000V、额定电流至4 000A，远距离通断电路，频繁起停、控制直流电动机换向或反接制动，技术数据见表 1-108。

表 1-108　CZ10 系列直流接触器技术数据

型号	额定电流 I_n/A	额定电压 U_n/V	机械寿命/万次	电寿命/万次	主回路通断能力/次	
					$U=1.05U_n$ $I=2.5I_n$ $t\leqslant5$ms	$U=1.05U_n$ $I=5I_n$ 电阻负载
CZ10—4 000	4 000	1 000	20	4	50	5

型号	辅助触头通断能力							辅助触头组成	脱扣器整定电流/A
	额定电流/A	电流种类	额定电压/V	接通电流/A	分断电流/A 电阻负载	分断电流/A 电感负载	通断次数		
CZ10—4 000	20	AC	380	100	10	10（$\cos\varphi=0.3\sim0.4$）	20	三常开三常闭，另有一常开触头供过载保护时自用	4 000～10 000（无特殊要求时按4 000A、7 000、10 000A三点整定）
		DC	110	15	5	2.5（$t=50\sim100$ms）			
			220	8	2	1（$t=50\sim100$ms）			

（4）CZ21—16 型　DC440V、电流至 16A，作通断电源及频繁地起动、控制直流电动机，还可与保护装置配合作电路负载保护，技术数据见表 1-109。

表 1-109　CZ21—16 型直流接触器技术数据

额定绝缘电压/V	额定工作电压/V	约定发热电流/A	额定工作电流 I_n/A	DC-3 类控制电动机功率/kW	吸引线圈 控制电压/V	吸引线圈 消耗功率 起动	吸引线圈 消耗功率 吸持	通断能力/(A/ms)	DC-3 时操作频率/(次/h)	DC-3 时电寿命/万次	机械寿命/万次	过负载能力
440	110	25	16	1.5	36、110、127、220、380	120V·A/45W	22V·A/9W	$4I_n$/15	1 200	5	300	$7I_n$允许通电 10s
	220			3.0					600			
	440			6.0					600			

（5）CZ16 系列　DC660V、电流至1 500A，远距离通断直流电路，技术数据见表 1-110。

表 1-110　CZ16 系列直流接触器技术数据

型号	额定工作电压/V	额定工作电流/A	主触头数量		辅助触头			使用类别		电寿命/万次		机械寿命/万次
			常开	常闭	额定工作电流/A	常开	常闭	主触头	辅助触头	主触头	辅助触头	
CZ16—1 000/10	660	1 000	1	0	10	3	3	DC-3 DC-5	DC-11	0.5	50	50
CZ16—1 500/10		1 500										

4. 选用与维护

（1）一般原则

① 类型。按所控制电动机或负载电流类型，即交（直）流电动机或负载选交（直）流接触器；如主要是交流电动机，直流电动机或直流负载容量较小时，可全选交流接触器，但触头额定电流适当大一些。

② 触头额定电压和额定电流。触头额定电压不小于电路电压；主触头额定电流不小于电动机或负载额定电流。

③ 线圈电压等级。线圈电压等级与控制电路电压一致。

④ 辅助触头额定电流、数量和种类。满足控制电路或选择叠加式接触器、增加中间继电器。

（2）交流接触器选用

1）按使用类别。分为轻任务和重任务接触器。前者如 CJ10、CJ8、CJ0 等，指接触器需在额定电压下接通电动机的 $6I_e$；后者如 CJ12 系列，在额定电压下通断电动机 $6I_e$。根据负载选择适合的交流接触器，接触器容量不小于负载电流。

三相交流电动机电流，根据电动机铭牌数据确定，如额定电压、电流、功率因数、效率、功率等选接触器。一般情况下按下式计算：

$$P=\sqrt{3}U_nI_n\eta\cos\varphi\times1\ 000 \tag{1-4}$$

式中　U_n——主电路额定线电压（V）；

I_n——接触器额定电压下额定工作电流（A）；

$\cos\varphi$——电动机功率因数；

η——电动机的效率。

对 AC 380V 三相 4 极电动机，$\cos\varphi=0.77\sim0.92$，$\eta=87.2\sim93.5\%$，电动机功率大则效率高，一般取 0.85～0.9。为方便，I_n 估算值取 $I_e=P/$

0.5，或 $I_e = 2P$，即估算电流为“电动机 2 倍”；对纯阻性加热负载，$I_e = 1.5P$，估算电流为“电热倍半”。对 AC 3kV 三相电动机，$I_e \approx P/4$；对 AC 6kV 三相电动机，$I_e \approx P/8$；对 AC 10kV 三相电动机，$I_e \approx P/13$。

2）按降低接触器容量。以可靠性为前提，交流接触器的使用与工作制有关，如电动机频繁“点动”，同样是3kW 电动机，水泵选10A 接触器，行车配 20A 接触器，因行车频繁操作，主触头实际电流为 6～12 倍额定电流。对控制车、铣、刨、钻床的异步电动机及起重设备用电动机等，推荐接触器工作电流为

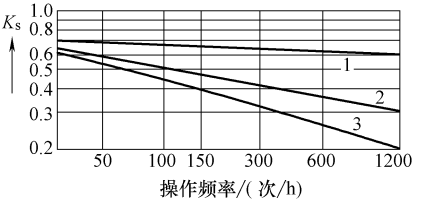
$$I_c = \frac{P_n}{1.3K_s U_n} \times 10^3 \tag{1-5}$$

式中　I_c——接触器工作电流（A）；

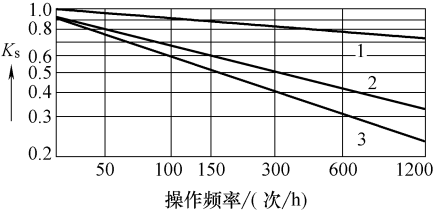
P_n——电动机额定功率（kW）；

U_n——电动机额定电压（V）；

K_s——交流接触器负载系数，见图 1-14，取决于接触器分断不同电流的操作频率。



a) 额定电压220～380V时，系数 K_s 与操作频率的关系



b) 额定电压 500V 时，系数 K_s 与操作频率的关系

图 1-14　分断不同电流时不同操作频率的接触器负载系数

曲线 1 是额定或接近额定转速时分断，K_s 与操作频率的关系；曲线 2 是有 10% 分断起动电流；曲线 3 是有 50% 分断起动电流。

（3）直流接触器选用　根据 DC－1～3 类别选用，其技术数据见表 1-111。

表 1-111　直流接触器技术数据

接触器主电路在间断长期工作制的额定发热电流/A	25、40、100、160、250、400、600、1 000、1 600、2 500、4 000
按接触器磁吹线圈额定工作电流的额定发热电流/A	1.5、2.5、5、10、16、25、40、60、100、160、250、400、600、1 000、1 600、2 500、4 000
额定工作电压/V	DC:48、110、220、440、750、1 200
主电路额定绝缘电压/V	DC:60、380、660、800、1 200
线圈的控制电源电压/V	DC:24、48、110、220
接触器的额定工作制	长期工作制、间断长期工作制(8h)、短时工作制
短时工作制的通断时间标准/min	10、30、60、90

（4）接触器维护与检修

① 外观检查。清除灰尘，用棉布蘸酒精擦油污，干布擦净或晾干；拧紧紧固件；金属外壳完好。

② 灭弧罩检修。用非金属刷清除罩内粉尘，如灭弧罩破裂即更换；栅片式灭弧罩的栅片应完整，如变形严重及松脱必须修复或更换。

③ 触头检修。银或银基合金触头有轻微烧损或接触面发毛、变黑时，可继续使用；若影响接触，应锉去毛刺，如触头开焊、脱落或磨损到原厚度的 1/3 时要更换触头；若长时间未用，先通电或手动通断数次，除去氧化膜，观察灵活性。不可用砂纸或锉刀修磨接触面；维修或更换后，应调整触头开距、超行程、触头压力及同步等。

④ 辅助触头检查。动作灵活，静触头无松动或脱落；开距及行程符合要求，如接触不良且不易修复时需更换。

⑤ 铁心检修。用棉纱沾汽油擦拭极面油垢；检查缓冲件齐全、位置正确；铆钉头无断裂；短路环断裂、隐裂造成严重噪声和吸力不足时，更换短路环、铁心或更换接触器；中柱气隙保持 0.1～0.3mm。

⑥ 线圈检修。线圈过热外表层老化变色，可能匝间短路；如引线头与导线开焊、线圈骨架裂纹磨损或固定不正常，及早处理、更换线圈或接触器。

⑦ 通电检查。接电源检查运动和摩擦部分灵活，在转轴与轴承间隙加润滑油；躯壳或机座固定牢靠并与安装面垂直，不得有挠曲或变形；电源连接螺钉要拧紧。

⑧ 主触头参数调整。拆卸、维修或更换零部件后重组装的接触器，对

主辅触头开距、超行程重新调整；直动式交流接触器主触头开距 + 超行程 = 铁心行程；旋转直动式主触头开距、超行程调整时可增减调整垫和衔铁打开的距离，如主触头超行程小可增加瓷底板与铝基座间调整纸垫；若开距需增大时，可松开调整衔铁行程限位螺母。旋转式 CJ12 系列主触头开距通过调整衔铁和磁轭，主触头超行程可调节动触头上端的调整螺钉；直流接触器主触头开距，出厂前已调整好，超行程调整可增减衔铁下端停挡的调整垫。

（5）接触器常见故障分析与处理（见表 1-112）

表 1-112　接触器常见故障分析与处理

故障现象	原因	处理
通电后不能吸合	①线圈无电压 ②有电压但低于线圈额定电压 ③有额定电压，而线圈本身开路 ④接触器运动部分的机械机构及动触头发生卡阻 ⑤转轴生锈、歪斜等	①测线圈两侧电压，若无电压，检查控制电路 ②有电压但低于线圈额定电压，线圈通电后电磁力不能克服弹簧反作用力，检查控制电压 ③有额定电压，可能是线圈开路，若接线螺钉松脱应紧固，线圈断线则应更换线圈 ④可对机械连接结构修整，调整灭弧罩及触头与灭弧罩的位置 ⑤拆检清洗转轴及支承杆，调换配件，保持转轴转动灵活，或更换接触器
吸合后又断开	控制电路的辅助触头接触不良	整修辅助触头，保证接触良好
铁心有异常响声	①铁心板面长期频繁碰撞，沿叠片厚度方向向外扩张、不平整 ②短路环断裂	①用锉刀修整，或更换铁心 ②应更换短路环
吸合不正常	①控制电压小于 85% 额定值，通电后电磁吸力不足，吸合不可靠 ②弹簧压力不当，弹簧反作用力过强，吸合过于缓慢，触头弹簧压力超程过大，使铁心不能完全闭合，弹簧压力与释放压力过大时，造成触头不能完全闭合 ③动静铁心间间隙过大，或可动部分卡住等	①检查控制电路电压，要达到要求 ②调整弹簧压力，或更换弹簧 ③拆卸重新装配，调小间隙或清洗轴端及支撑杆，或调换配件。组装时应注意符合要求

（续）

故障现象	原因	处理
主触头过热或熔焊	①接触器吸合缓慢或有停滞现象，触头接触不可靠 ②触头表面严重氧化及灼伤，接触电阻增大，造成主触头过热 ③频繁起动设备，主触头电流冲击大 ④主触头长时间过载，造成过热或熔焊 ⑤负载侧有短路，吸合时短路电流通过主触头 ⑥接触器三相主触头闭合时不能同步，两相主触头受特大起动电流冲击，造成主触头熔焊 ⑦主触头本身抗熔性差 ⑧如是笼型电动机控制主电路，热继电器电流整定值太大	①对弹簧压力作调整，或更换 ②清除主触头表面氧化层，用细锉刀轻轻锉平，保持接触良好 ③合理操作避免频繁启动，或选符合操作频率及通电持续率的接触器 ④减少拖动设备负荷，使设备在额定状态下运行，或选合适的接触器 ⑤检查短路故障 ⑥检查主触头闭合状况，调整动静触头间隙使之同步 ⑦选抗熔能力较强的银基合金主触头接触器 ⑧热继电器电流整定值 = 电动机的额定电流
线圈断电后铁心不能释放	①接触器运行时间较长，铁心极面变形，铁心中间磁极面间隙消失，线圈断电后铁心产生剩磁，交流接触器断电后不能释放 ②铁心极面上油污和尘屑多 ③动触头弹簧压力小 ④接触器触头熔焊 ⑤安装不合要求 ⑥铁心表面防锈油的粘连	①锉平修整铁心接触面，保证中间磁极接触面间隙 ≤ 0.15 ~ 0.2mm ②清除油污 ③调整弹簧压力，或更换新弹簧 ④减小负荷，或根据设备工作电流，重选接触器；检查是否有短路并排除；检查主触头闭合状况，调整间隙使之同步；选抗熔能力较强的银基合金主触头接触器 ⑤安装符合要求 ⑥揩净油

七、继电器

1. 基本结构与应用

继电器属于自动电器，可实现远距离控制交、直流电路，用作控制、保护及信号转换。输入量一般是电流、电压、温度、压力、速度等物理量，输出量是触头动作时发出的电信号或输出电路的参数变化。当输入量变化达到一定程度时，输出量才发生阶跃性变化。

1）电压继电器，根据电路电压变化而动作，如用于电动机失电压、欠电压保护的交直流电压继电器；用于绕线型电动机制动和反转控制的交流电压继电器；用于直流电动机反转及反接制动的直流电压继电器等。中间继电器实质上也是电压继电器。

2）电流继电器，根据电路电流变化而动作，用于电动机和其他负载的过载及短路保护，以及直流电动机的磁场控制或失磁保护等。

3）时间继电器，从接收信号到执行元件动作有时间间隔。

4）热继电器，用作交流电动机过载及断相保护。

5）温度继电器，用作设备过热保护或温度控制，尤其是交流异步电动机的保护。

6）速度继电器，供电动机转速和转向变化监测。

2. 主要类型

（1）过电流继电器

1）JL 系列过流延时继电器。有 JL12 和 JL14 系列，前者在 50Hz、380V、5～300A 线路中，用于绕线转子异步电动机起动过载和过电流保护；后者在电压至 AC 380V、DC 440V 控制电路中，作过电流或欠电流继电器。JL12 系列额定电压 380V，触头额定电流 5A，线圈额定电流有 5A、10A、15A、20A、30A、40A、50A、60A、75A、100A、150A、200A、300A，在环境温度 −25～+40℃经调节后动作特性符合表 1-113，JL14 系列技术数据见表 1-114。

表 1-113　JL12 系列过电流延时继电器的动作特性

动作电流/A	动作时间	起始状态
I_e	长期不动作	
$1.5I_e$	<3min	热态
$2.5I_e$	(10±6)s	
$6I_e$	<1～3s	

2）JL15 系列电流继电器。它属于过电流瞬时动作的电磁继电器，主要用于 50Hz、AC 380V 或 DC 440V 以下、电流至1 200A 一次电路中，作电力转动系统中的过电流保护元件，技术数据见表 1-115。

（2）热继电器

1）JR 系列。50Hz、主电路额定绝缘电压至 660V、电流至 160A 中，作三相交流电动机过载和断相保护。常见有 JR0、JR14、JR15、JR16 和 JR20

表 1-114　JL14 系列过流延时继电器技术数据

触头形式	型号	吸引线圈额定电流 I_e/A	吸合电流调整范围	触头组合型式		备注
直流	JL14—□Z	1、1.5、2.5、5、10、15、25、40、60、80、100、150、300、600、1 200、1 500	(70% ~300%)I_e	2 开	2 闭	
	JL14—□ZS		(30% ~65%)I_e或释放电流在(10% ~20%)I_e范围内调整	2 开	1 闭	手动复位
	JL14—□ZQ			1 开	2 闭	欠电流
交流	JL14—□J			2 开	2 闭	手动复位
	JL14—□JS			1 开	1 闭	返回系数 >0.65
	JL14—□JG					

表 1-115　JL15 系列电流继电器技术数据

电流种类	型号	吸引线圈额定电流 I_e/A	吸合电流调整范围	触头数量		接线方式	备注
				常开	常闭		
直流或交流	JL15—□/01	1.5、2.5、5、10、15、20、30、40、60、80、100、150、250、300、400、600、800、1 200	(80% ~300%)I_e		1	60A 及以下，板前接线；80A 及以上，板前或板后接线	返回系数 0.6 ~0.85，对 600A 和 1 200A，整定电流 >2I_e 时允许降 0.1
	JL15—□/11			1	1		
	JL15—□S/01				1		
	JL15—□S/01		(120% ~400%)I_e		1		
	JL15—□/02				2		
	JL15—□/22			2	2		
	JL15—□S/02		(120% ~400%)I_e		2		
	JL15—□S/22			2	2		
交流	JL15—□F/01				1		
	JL15—□F/01				1		

系列，JR20 为立体布置，有过载和断相保护、温度补偿、手动和自动复位，动作脱扣灵活性检查、动作脱扣指示和断开检验按钮等，电流调整旋钮整定电流值。不通电可方便地检查内部动作，动作显示清晰。按动检查按钮、断开常开常闭触头，可检查通电后控制电路的动作。当电动机过载或断相时热继电器动作，同时动作脱扣指示件弹出显示热继电器已动作，可手动与自动复位。JR20 系列技术数据见表 1-116、表 1-117，JR29 系列见表 1-118，JR36 系列见表 1-119 ~121。JRS16 系列用于 50/60Hz、主电路 660V、电流至 160A 系统，作三相交流电动机过载和断相保护，可手动调节动作电流，自动与手动复位，信号输出有温度补偿，主要技术数据见表 1-122 ~表 1-124。

表 1-116 热继电器的动作特征和温度补偿功能

各相负载平衡	序号	额定电流倍数		动作时间
各相负载平衡	1	1.05		2h 不动作
	2	1.2		<2h
	3	1.5	≤63A	<2min
			>63A	<4min
	4	7.2	≤63A	2s < t_p ≤10s
			>63A	4s < t_p ≤10s
有断相保护,负载不平衡	5	任两相为 1.0,第三相为 0.9		2h 不动作
	6	任两相为 1.15,第三相为 0		<2h
无断相保护,负载不平衡	7	1.0		2h 不动作
	8	任两相为 1.32,第三相为 0		<2h
温度补偿	9	1.0		2h 不动作
	10	1.20		<2h
	11	1.05		2h 不动作
	12	1.30		<2h

表 1-117 JR20 系列热继电器型号及整定电流范围

型号	热元件号	整定电流范围	型号	热元件号	整定电流范围
JR20—10	1R	0.1 ~ 0.13 ~ 0.15	JR20—25	1T	7.8 ~ 9.7 ~ 11.6
	2R	0.15 ~ 0.19 ~ 0.23		2T	11.6 ~ 14.3 ~ 17
	3R	0.23 ~ 0.29 ~ 0.23		3T	17 ~ 21 ~ 25
	4R	0.35 ~ 0.44 ~ 0.53		4T	21 ~ 25 ~ 29
	5R	0.53 ~ 0.67 ~ 0.8	JR20—63	1U	16 ~ 20 ~ 24
	6R	0.8 ~ 1 ~ 1.2		2U	24 ~ 30 ~ 36
	7R	1.2 ~ 1.5 ~ 1.8		3U	32 ~ 40 ~ 47
	8R	1.8 ~ 2.2 ~ 2.6		4U	40 ~ 47 ~ 55
	9R	2.6 ~ 3.2 ~ 3.8		5U	47 ~ 55 ~ 62
	10R	3.2 ~ 4 ~ 4.8		6U	55 ~ 63 ~ 71
	11R	4 ~ 5 ~ 6	JR20—160	1W	33 ~ 40 ~ 47
	12R	5 ~ 6 ~ 7		2W	47 ~ 55 ~ 63
	13R	6 ~ 7.2 ~ 8.4		3W	67 ~ 74 ~ 84
	14R	7.2 ~ 8.6 ~ 10		4W	74 ~ 86 ~ 98
	15R	8.6 ~ 10 ~ 11.6		5W	85 ~ 100 ~ 115
JR20—16	1S	3.6 ~ 4.5 ~ 5.4		6W	100 ~ 115 ~ 130
	2S	5.4 ~ 6.7 ~ 8		7W	115 ~ 132 ~ 150
	3S	8 ~ 10 ~ 12		8W	130 ~ 150 ~ 170
	4S	10 ~ 12 ~ 14		9W	144 ~ 160 ~ 176
	5S	12 ~ 14 ~ 16			
	6S	14 ~ 16 ~ 18			

表 1-118　JR29 系列热继电器技术数据

型号		JR29—16	JR29—25	JR29—45	JR29—85	JR29—105	JR29—170	JR29—250	JR29—370
额定电流/A		16	25	45	85	105	170	520	370
热元件整定电流范围/A		0.11～17.6	0.1～32	0.284 5	6.0～100	27～115	90～200	100～400	100～500
操作频率/(次/h)		15							
复位方式		手动	手动和自动	手动和自动	自动	手动和自动			
电寿命/千次		5							
辅助触头	数量	1 常闭 1 常开		1 常闭 1 常开		1 常闭 1 常开 2 常闭		1 常闭 1 常开 2 常闭	
	额定工作电流/A	220V:3 380V:2 500V:1		220V:3、1.7 380V:2、1.3 500V:1.5、1.0		220V:3、2.5 380V:2、1.3 500V:1.5、0.8		220V:3、1.7 380V:2、1.3 500V:1.5、1.5	

表 1-119　JR36 系列热继电器三相负载平衡时的动作时间

序号	整定电流倍数	动作时间			起始条件	环境温度/℃
1	1.05	>2h			冷态	20±5
2	1.2	<2h			热态(接序号 1 试验后)	
3	1.5	>4min				
4	7.2	10A	$2s<t_p\leq10s$	≤63A	冷态	
		10A	$4s<t_p\leq10s$	>63A		

表 1-120　JR36 系列热继电器断相动作性能

序号	整定电流倍数		动作时间	起始条件	环境温度/℃
	任意两相	第三相			
1	1.0	0.9	>2h	冷态	20±5
2	1.15	0	<2h	热态(接序号 1 试验后)	

表 1-121　JR36 系列热继电器规格

型　号	JR36—20	JR36—32	JR36—63	JR36—160
整定电流范围/A	0.25～0.35	10～16	14～22	40～63
	0.32～0.5	14～22	20～32	53～85
	0.45～0.72	20～32	28～45	75～120

（续）

型　号	JR36—20	JR36—32	JR36—63	JR36—160
整定电流范围/A	0.68～1.1		40～63	100～160
	1～1.6			
	1.5～2.4			
	2.2～3.5			
	3.2～5			
	4.5～7.2			
	6.8～11			
	10～16			
	14～22			

表 1-122　JRS16 系列热继电器三相负载平衡时的动作时间

序号	整定电流倍数	动作时间			起始条件
1	1.05	>2h			冷态
2	1.2	<2h			热态（接序号 1 试验后）
3	1.5	>4min			
4	7.2	10A	$2s < t_p \leqslant 10s$	≤63A	冷态
		10A	$4s < t_p \leqslant 10s$	>63A	

表 1-123　JRS16 系列热继电器断相动作性能

序号	整定电流倍数		动作时间	起始条件
	任意两相	第三相		
1	1.0	0.9	>2h	冷态
2	1.15	0	<2h	热态（接序号 1 试验后）

表 1-124　JRS16 系列热继电器规格

型　号	JR16—20	JR16—32	JR16—63	JR16—160
整定电流范围/A	0.25～0.35	10～16	14～22	40～63
	0.32～0.5	14～22	20～32	53～85
	0.45～0.72	20～32	28～45	75～120
	0.68～1.1		40～63	100～160
	1～1.6			
	1.5～2.4			
	2.2～3.5			
	3.2～5			
	4.5～7.2			
	6.8～11			
	10～16			
	14～22			

2）JRS2 热继电器。50Hz、额定工作电压 660V 和1 000V、电流 0.1～630A，作三相交流异步电动机过载与断相保护，全系列产品带过载与断相保护，整定电流可调节，大部分热元件整定电流范围交叉重叠；－25～55℃环境有温度补偿；有断开常闭触头试验按钮，有动作指示、自动脱扣；可带防止触电护罩，有独立插入接触器和导轨等。其技术数据见表 1-125。

表 1-125　JRS2 热继电器技术数据

型　号	额定工作电流/A	额定绝缘电压/V	整定电流范围/A
JRS2—12.5	12.5	660	0.1～0.16、0.16～0.25、0.25～0.4、0.32～0.5、0.4～0.63、0.63～1、0.8～1.25、1～1.6、1.25～2、1.6～2.5、2～3.2、2.5～4、3.2～4、4～6.3、5～8、6.3～10、8～12.5、10～14.5
JRS2—25	25		0.1～0.16、0.16～0.25、0.25～0.4、0.4～0.63、0.63～1、0.8～1.25、1～1.6、1.25～2、1.6～2.5、2～3.2、2.5～4、3.2～5、4～6.3、5～8、6.3～10、8～12.5、10～16、12.5～20、16～25
JRS2—32	32		4～6.3、6.3～10、10～16、12.5～20、16～25、20～32、25～36
JRS2—80	80	1 000	12.5～20、16～25、20～32、25～40、32～50、40～57、50～63、57～70、63～80、70～88
JRS2—63	63	660	0.1～0.16、0.16～0.25、0.25～0.4、0.4～0.63、0.63～1、0.8～1.25、1～1.6、1.25～2、1.6～2.5、2～3.2、2.5～4、3.2～5、4～6.3、5～8、6.3～10、8～12.5、10～16、12.5～20、16～25、20～32、25～40、32～45、40～57、50～63
JRS2—180	180	1 000	55～80、63～90、80～110、90～120、110～135、120～150、135～160、150～180
JRS2—400	400		80～125、125～200、160～250、200～320、250～400
JRS2—630	630		320～500、400～630

3）JRS5（TH—K）系列。50Hz、电压至 660V、电流至 105A，长期或间断长期工作一般交流电动机过载保护，有断相保护、温度补偿、脱扣指示，自动与手动复位。其技术数据见表 1-126。

4）LR2（JR28）系列。50/60Hz、380V 线路中作电动机过载保护，其技术数据见表 1-127。

表 1-126　JRS5（HT—K）系列热继电器技术数据

型　号	整定电流范围/A	型　号	整定电流范围/A
JRS5—12/Z（TH—K12）	0.2～0.28	JKS5—20/F（TH—K20）	0.2～0.28
	0.28～0.42		0.28～0.42
	0.4～0.6		0.4～0.6
	0.55～0.85		0.55～0.85
	0.7～1.1		0.7～1.1
	1～1.6		1～1.6
	1.4～2		1.4～2
	1.7～2.5		1.7～2.5
	2～3		2～3
	2.8～4.4		2.8～4.4
	4～6		4～6
	5.2～8		5.2～8
	7～11		7～11
	9～13		9～13
JRS5—20/F（TH—K20）	12～18	JRS5—60/F（TH—K60）	12～18
			16～22
	16～22		18～26
			24～34
	18～26		30～40
			34～50
	24～34		43～65
			54～80
	30～40		65～93
			85～105

表 1-127　LR2（JR28）系列热继电器技术数据

型号	额定电流范围/A	辅助触点		
		使用类别	额定工作电压/V	额定工作电流/A
LR2—D 1 301	0.1～0.16	AC—15	220	1.64
LR2—D 1 302	0.16～0.25			
LR2—D 1 303	0.25～0.4			
LR2—D 1 304	0.4～0.63			
LR2—D 1 305	0.63～1			
LR2—D 1 306	1～1.6		380	0.95
LR2—D 1 307	1.6～2.5			
LR2—D 1 308	2.5～4			
LR2—D 13 010	4～6			
LR2—D 13 012	5.5～8			

（续）

型号	额定电流范围/A	辅助触点		
		使用类别	额定工作电压/V	额定工作电流/A
LR2—D 13 016	9～13	DC—13	220	0.15
LR2—D 13 021	12～18			
LR2—D 13 022	17～25			
LR2—D 13 053	23～32			
LR2—D 13 055	30～40			
LR2—D 13 057	37～50			
LR2—D 13 059	48～65			
LR2—D 13 061	55～70			
LR2—D 13 063	63～80			
LR2—D 13 065	80～93			

5）GR1 系列热过载继电器。50/60Hz、电压至 660V，作交流电动机过负荷和断相保护。可与 GC1 系列接触器插件连接。GR1 系列技术数据见表 1-128，GR1 系列控制电动机功率及整定电流见表 1-129，GR1 系列辅助触头技术数据见表 1-130，GR1 系列动作特性见表 1-131。

表 1-128　GR1 系列热过载继电器技术数据

型号		GR1—09～25	GR1—40～95
额定绝缘电压 U_i/V		660	
辅助电路	额定工作电压 U_n/V	AC380、DC220	
	约定发热电流 I_{th}/A	10	
	辅助触头使用类别	AC-11、DC-11	
周围空气温度/℃		－5～40	
海拔/m		≤2 000	
环境条件		环境温度 40℃时，相对湿度≤50%；25℃时相对湿度≤90%	
储存环境		温度－40～50℃，25℃时相对湿度 95%	
污染等级		3 级	
外壳防护等级		IP00	
复位性能		热继电器正常脱扣后，复位时间≤2min	
主电路端子接导线	软线截面积/mm^2	4	16
	硬线截面积/mm^2	6	25
	根数	2	1

表 1-129　GR1 系列热过载继电器控制电动机功率及整定电流范围

型号	电流调整范围/A	控制电动机功率(AC-3)/kW					可插接接触器型号	短路保护用熔断器/A	
		220V	380V	415V	440V	660V		aM	gG
GR1—09 301	0.1～0.16						GC1—09～32	0.25	2
GR1—09 302	0.16～0.25							0.5	2
GR1—09 303	0.25～0.40							1	2
GR1—09 304	0.40～0.63					0.37		1	2
GR1—09 305	0.63～1					0.55		2	4
GR1—09 306	1～1.6		0.37		0.55	0.75、1.1		2	4
GR1—09 307	1.6～2.5	0.37	0.55、0.75	1.1	0.75、1.1	1.5		4	6
GR1—09 308	2.5～4	0.55、0.75	1.1、1.5	1.5	1.5	2.2、3		6	10
GR1—09 310	4～6	1.1	2.2	2.2	2.2	4		8	16
GR1—09 312	5.5～8	1.5	3	3、3.7	3、3.7	5.5		12	20
GR1—09 314	7～10	2.2	4	4	4	7.5		12	20
GR1—12 316	9～13	3	5.5	5.5	5.5	10		16	25
GR1—16 321	12～18	4	7.5	9	9	15		20	35
GR1—25 322	17～25	5.5	11	11	11	18.5		25	50
GR1—40 353	23～32	7.5	15	15	15	22	GC1—40～95	40	63
GR1—40 355	30～40	10	18.5	22	22	30		40	80
GR1—63 357	37～50	11	22	25	25	37	GC1—50～95	63	100
GR1—63 359	48～65	15	25	30	30	45	GC1—63～95	63	100
GR1—63 361	55～70	18.5	30	37	37	55		80	125
GR1—80 363	63～80	22	37	45	45	75	GC1—80～95	80	125
GR1—95 365	80～93						GC1—95	100	160

表 1-130　GR1 系列热继电器辅助触头技术数据

使用类别	AC			使用类别	DC		
	U_n/V	P/VA	I_n/A		U_n/V	P/W	I_n/A
AC-11	24	86	3.6	DC-11	24	100	4
	48	173	3.6		48	75	1.5
	127	457	3.6		110	55	0.5
	220	792	3.6		220	45	0.2
	380	1 064	2.8		440	40	0.1
	660	900	1.5		600	30	0.05

表 1-131　GR1 系列热过载继电器动作特性

动作特性	序号	额定电流倍数		动作时间/h	起始条件
		任意两相	另一相		
各相负荷不平衡时	1	1.00	0.9	>2	冷态
	2	1.15	0	<2	按序号 1 试验后
各相负荷平衡时	1	1.05		>2	冷态
	2	1.20		<2	按序号 1 试验后
	3	1.50		<4min	按序号 1 试验后
	4	7.2		>4s	冷态
温度补偿性能	1	1.00		>2	冷态
	2	1.20		<2	按序号 1 试验后
	3	1.05		>2	冷态
	4	1.30		<2	按序号 3 试验后

6）T 系列热继电器。50/60Hz、电压至 660V、电流至 500A，作交流电动机过载保护，常与 B 系列交流接触器组成磁力起动器。各种型号及电流调节范围见表 1-132，主要技术性能见表 1-133，控制触头额定电压、电流及约定发热电流见表 1-134，动作特性见表 1-135，三相带断相保护热继电器在负载不平衡时的动作特性见表 1-136，温度补偿特性见表 1-137。

表 1-132　T 系列热继电器型号及电流调节范围

型号	T16	T25	T45	T85	T105	T170	T250	T370
电流调节范围/A	0.11～0.16	0.17～0.25	0.25～0.40	6.0～10	36～52	90～130	100～160	160～250
	0.14～0.21	0.22～0.32	0.30～0.52	8.0～14	45～63	110～160	160～250	250～400
	0.19～0.29	0.28～0.42	0.40～0.63	12～20	57～82	140～200	250～400	310～500
	0.27～0.40	0.37～0.55	0.52～0.83	17～29	70～105	—	—	—
	0.35～0.52	0.50～0.70	0.63～1.0	25～40	80～115	—	—	—
	0.42～0.63	0.60～0.90	0.83～1.3	35～55	—	—	—	—
	0.55～0.83	0.70～1.1	1.0～1.6	45～70	—	—	—	—
	0.70～1.0	1.0～1.5	1.3～2.1	60～100	—	—	—	—
	0.90～1.3	1.3～1.9	1.6～2.5	—	—	—	—	—
	1.1～1.5	1.6～2.4	2.1～3.3	—	—	—	—	—
	1.3～1.8	2.1～3.2	2.5～4.0	—	—	—	—	—
	1.5～2.1	2.8～4.1	3.3～5.2	—	—	—	—	—
	1.7～2.4	3.7～5.6	4.0～6.3	—	—	—	—	—
	2.1～3.0	5.0～7.5	5.2～8.3	—	—	—	—	—
	2.7～4.0	6.7～10	6.3～10	—	—	—	—	—
	3.4～4.5	8.5～13	8.3～13	—	—	—	—	—
	4.0～6.0	12～15.5	10～16	—	—	—	—	—
	5.2～7.5	13.5～17	13～21	—	—	—	—	—
	6.3～9.0	15.5～20	16～27	—	—	—	—	—
	7.5～11	18～23	21～35	—	—	—	—	—
	9.0～13	21～27	27～45	—	—	—	—	—
	12～17.6	26～35	28～45	—	—	—	—	—

（续）

型号	T16	T25	T45	T85	T105	T170	T250	T370
配套的接触器型号	B9、B12、B16、B25	B16、B25、B30、B37	B25、B30、B37、B45	B65、B85	B37、B45、B65、B85、B105、B170	B65、B85、B105、B170	B250	B370、B460

表 1-133　T 系列热继电器主要技术性能

项目	型号							
	T16	T25	T45	T85	T105	T170	T250	T370
温度补偿范围/℃	-25～50	-25～50	-25～50	-25～50	-25～50	-25～50	-25～50	-25～50
断相保护	有	有	有	有	有	有	有	有
手动或自动复位	手动	手动	自动	自动	自动	自动	自动	自动
最大热损功率/(W/相)	2.1	—	2.9	8.2	2.9	2.9	2.9	2.9
操作频率/(次/h)	15	15	15	15	15	15	15	15
电寿命/万次	5	5	5	5	5	5	5	5

表 1-134　控制触头额定电压、额定电流及约定发热电流

项目		型号(NO 为动合触头、NC 为动断触头、CO 为转换触头)													
		T16	T25	T45			T85	T105		T170		T250		T370	
		NO/NC		NO	NC	CO	NO	NC	NO	NC	NO	NC	NO	NC	NO
约定发热电流/A		10	—	10	10	6	10	10	6	10	6	10	6	10	6
额定电流/A	AC 220V	3	—	3	1.7	1.7	3	3	1.7	3	1.7	3	1.7	3	1.7
	AC 380V	2	—	2	1.3	1.3	2	2	1.3	2	1.3	2	1.3	2	1.3
	AC 500V	1	—	1.5	1	—	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1

表 1-135　继电器动作特性

整定电流倍数	动作时间	起始状态	整定电流倍数	动作时间	起始状态
1.05	2h 不动作	冷态	1.5	<2min	热态
1.2	<2h	热态	6.0	>5s	冷态

表 1-136　三相带断相保护热继电器在负载不平衡时的动作特性

序号	整定电流倍数		动作时间	工作状态
	任意两相	第三相		
1	1.0	0.9	2h 不动作	冷态开始
2	1.15	0	<2h	热态开始

表 1-137　热继电器温度补偿特性

序号	整定电流倍数	动作时间	起始状态	环境空气温度/℃
1	1.0 1.05	2h 不动作	冷态	50 -25
2	1.2 1.3	<2h	热态	50 -25

7）JR16□系列。双金属片式，作 50Hz、380V、额定电流至 160A 的一般交流异步电动机过载保护，有断相保护装置。额定电流、整定电流范围见表 1-138，触头通断能力见表 1-139。

表 1-138　JR16□系列热继电器额定电流、整定电流范围

型　号	额定电流/A	热元件等级		
		热元件编号	热元件额定电流/A	整定电流范围/A
JR16□—20/3 JR16□—20/3D	20	1	0.35	0.25～0.3～0.35
		2	0.5	0.32～0.4～0.5
		3	0.72	0.45～0.6～0.72
		4	1.1	0.68～0.9～1.1
		5	1.6	1.0～1.3～1.6
		6	2.4	1.5～2～2.4
		7	3.5	2.2～2.8～3.5
		8	5.0	3.2～4～5
		9	7.2	4.5～6～7.2
		10	11	6.8～9～11
JR16□—20/3 JR16□—20/3D	20	11	16	10～13～19
		12	22	14～18～22
JR16□—60/3 JR16□—60/3D	60	13	22	14～18～22
		14	32	20～26～32
		15	45	28～36～45
		16	63	40～50～63
JR16□—150/3 JR16□—150/3D	150	17	63	40～50～63
		18	85	53～70～85
		19	120	75～100～120
		20	160	100～130～160

表 1-139　JR16□系列热继电器触头通断能力

触头种类		动断触头		动合触头	
工作电压/V		220	380	220	380
通断能力/A	断开 $\cos\varphi=0.2\pm0.05$	3	2		
	闭合 $\cos\varphi=0.2\pm0.05$			5	

8）选用。根据所保护电动机特性、工作条件，使热继电器安秒特性位于电动机过载特性之下，尽可能接近或重合，电动机在短时过载和起动瞬间 $(5\sim6)I_e$ 时不受影响，保护电动机过载。

① 一般情况。热继电器额定电流≥电动机额定电流。

② 电动机长期或间断长期工作。根据起动时间，选 $6I_e$ 下具有相应可返回时间的热继电器；通常 $6I_e$ 下热继电器可返回时间与动作时间关系为

$$t_R=(0.5\sim0.7)t_V \tag{1-6}$$

式中　t_R——热继电器在 $6I_e$ 的可返回时间（s）；

t_V——热继电器在 $6I_e$ 的动作时间（s）。

③ 断相保护热继电器。对Y联结电动机选3极热继电器；△联结电动机选带断相保护热继电器。

④ 三相与两相。对电动机过载保护两者效果相同，但电动机断相保护时不宜选两相；多台电动机功率差别比较显著、电源电压显著不平衡、Y-△联结电源变压器一次侧断线时不选两相。

⑤ 电动机反复短时工作。当电动机起动电流 $6I_e$、起动时间 1s，满载工作、通电持续率 60% 时每小时允许操作小于 40 次；频率过高，选带速饱和电流互感器的热继电器或过电流继电器。

⑥ 电动机正反转及频繁通断。不用热继电器，选用埋入式半导体热敏电阻式等温度继电器。

（3）JS 系列时间继电器　接收信号后触头延时开闭。按触头延时动作分空气阻尼式、电动式、电磁式及晶体管式等。空气阻尼式时间继电器的型号见图 1-15。常用型号 JS—113、JS—113A、JS—103、JS—103A、JS—103S、JS—103SA、JS—114C、JS—104C、JS—104SC 等。

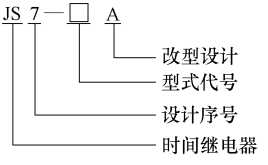


图 1-15　JS 系列时间继电器型号

1）JS 系列。JS7—A 系列技术数据见表 1-140，JS20 系列技术数据见表 1-141，JS14P 系列数字式时间继电器技术数据见表 1-142。

表 1-140　JS7—A 系列时间继电器技术数据

型号	吸引线圈电压/V	触头额定电压/V	触头额定电流/A	延时触头				瞬时触头		延时范围/s
				通电延时		断电延时				
				常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭	
JS7—1A	36、127、220、380	380	5	1	1					0.4～60及0.4～180
JS7—2A				1	1			1	1	
JS7—3A						1	1			
JS7—4A						1	1	1	1	

表 1-141　JS20 系列电器技术数据

型号	结构型式	延时整定元件位置	延时范围/s	延时触头数量				不延时触头数量		工作电压/V
				通电延时		断电延时				
				常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭	
JS20—□/00	装置式	内接	0.1～300	2	2					50Hz，36、127、220、380；DC 24
JS20—□/01	面板式			2	2	—	—	—	—	
JS20—□/02	装置式	外接		2	2					
JS20—□/03		内接		1	1	—	—	1	1	
JS20—□/04	面板式		0.1～3 600	1	1			1	1	
JS20—□/05	装置式	外接		1	1			1	1	
JS20—□/10		内接		2	2					
JS20—□/11	面板式			2	2	—	—	—	—	
JS20—□/12	装置式	外接		2	2					
JS20—□/13		内接		1	1			1	1	
JS20—□/14	面板式			1	1	—	—	1	1	
JS20—□/15	装置式	外接	0.1～180	1	1			1	1	
JS20—□/00		内接				2	2			
JS20—□/01	面板式			—	—	2	2	—	—	
JS20—□/02	装置式	外接				2	2			

2）JS14A 系列晶体管时间继电器。通电延时型，50/60Hz 、 AC 380V 或 DC 220V 控制电路中。技术数据见表 1-143 和表 1-144。

3）DS—20 系列时间继电器。保护和控制电路中作延时元件，有一对瞬时触头、一对滑动主触头和一对终止主触头，技术数据见表 1-145。

4）JS25 系列。50Hz、AC 380V 或 DC 220V 控制系统中，技术数据见表 1-146。

表 1-142　JS14P 系列数字式时间继电器技术数据

型　　号	安装方式	额定电源电压/V	输出触头数	输出触头容量
JS14P—1/□，JS14P—1/□Z	装置式	AC 24、(AC 36)、AC 48、AC 110、AC 127、AC 220、AC 380 DC 12、DC 48、DC 110、(DC 220)	2 对	AC 220V、3A DC 30V、5A
JS14P—1/□M，JS14P—1/□ZM	面板式			
JS14P—2/□，JS14P—2/□Z	装置式			
JS14P—2/□M，JS14P—2/□ZM	面板式			
JS14P—3/□，JS14P—3/□Z	装置式			
JS14P—3/□M，JS14P—3/□ZM	面板式			
JS14P—4/□，JS14P—4/□Z	装置式			
JS14P—4/□M，JS14P—4/□ZM	面板式			
JS14P—5/□，JS14P—5/□Z	装置式			
JS14P—5/□M，JS14P—5/□ZM	面板式			
JS14P—6/□，JS14P—6/□Z	装置式			
JS14P—6/□M，JS14P—6/□ZM	面板式			
JS14P—7/□，JS14P—7/□Z	装置式			
JS14P—7/□M，JS14P—7/□ZM	面板式			

表 1-143　JS14A 系列晶体管时间继电器技术数据

触头电压/V		接通与断开电流/A	
		电阻负载($\cos\varphi=1$)	电感负荷($\cos\varphi=0.4$)
交流	220	5	2
	380	2	1
直流	6	5	4.6
	12	4.6	4.3
	24	3	2.4
	220	1	

表 1-144　JS14A 系列晶体管时间继电器触头通断能力

型号	结构形式		延时范围/s	工作电压/V	触头数量		复位时间/s
					常开	常闭	
JS14A—□/□	交流	装置式	1、5、10、30、60、120、180、240、300、600、900	AC 36、AC 110、AC 127、AC 220；DC 24	2	2	1
JS14A—□/□M		面板式			2	2	
JS14A—□/□Y		外接式			1	1	
JS14A—□/□Z	直流	装置式			2	2	
JS14A—□/□ZM		面板式			2	2	
JS14A—□/□ZY		外接式			1	1	

表 1-145　DS—20 系列时间继电器技术数据

型　号	额定电压 U_e/V	整定时间/s	动作电压	返回电压	功耗
DS—21	DC 24、48、110、220（C-长期带电产品）	0.2～1.5	≤70% U_e	≥5% U_e	≤10W
DS—22		1.2～5			
DS—23		2.5～10			
DS—24		5～20			
DS—21/C		0.2～1.5	≤75% U_e		≤7.5W
DS—22/C		1.2～5			
DS—23/C		2.5～10			
DS—24/C		5～20			
DS-25	AC 110、127、220、380	0.2～1.5	≤85% U_e	≥5% U_e	≤35W
DS/26		1.2～5			
DS-27		2.5～10			
DS-28		5～20			

表 1-146　JS25 系列时间继电器技术数据

型　号	延时方式	额定电压/V		延时范围/s
		AC	DC	
JS25—T	通电延时	36、110、（127）、220、380	24、48、110、220	7.5～61 200
JS25—D	间隔延时			
JS25—F	分断延时			
JS25—M	通电延时脉冲型			
JS25—C	重复循环延时			
JS25—S	闪烁型			
JS25—X	Y-△型			

5）DSJ—10 系列。属于电磁式时间继电器，其技术数据见表 1-147。

表 1-147　DSJ—10 系列时间继电器技术数据

型号	额定电压 U_n/V	时间整定范围/s	动作时间变差/s	滑动主触头动作时间/s	动作电压/V	返回电压/V	功率消耗/V·A	长期允许电流/A	
								主触头	瞬时转换触头
DSJ—11	50/60Hz 100、110、127、220、380	0.1～1.3	0.06	0.05～0.1	≤70% U_n	≥10% U_n	≤15	5	3
DSJ—12		0.25～3.5	0.12	0.12～0.25					
DSJ—13		0.5～9	0.25	0.3～0.65					

6）选用。时间精度不高时用 JS7-A 系列；精度较高用 JS11 系列电动式时间继电器。JS—17 系列寿命长、偏差小，用于 50/60Hz、380V 控制电路中；JS10 系列电动式继电器用于机械、电气控制设备作延时；JS-20 系列用于电力拖动、顺序控制及过程控制中。

（4）温度继电器

1）JW6 系列。微型过热保护元件，埋入电动机绕组作过载或堵转故障的过热保护，或用于其他电气设备非正常过热保护及介质温度控制。当超过某温度时，温度继电器切断控制电路；冷却到继电器复位温度时再自动接通电路。当电动机过载或堵转绕组温度升高时，温度继电器双金属元件动作，切断电源保护电动机。额定电压 AC380V，额定动作温度 50℃、60℃、70℃、80℃、90℃、100℃、105℃、115℃、125℃和 135℃，动作特征见表 1-148；控制触头为单断点常闭控制触头，瞬动结构，触头通断能力 AC380V、2A。

表 1-148　JW6 系列温度继电器

型　号	动作温度/℃	复位温度/℃
JW6—50	50 ± 3	低于动作温度 5 ~ 20
JW6—60	60 ± 3	
JW6—70	70 ± 5	
JW6—80	80 ± 5	低于动作温度 5 ~ 33
JW6—90	90 ± 5	
JW6—100	100 ± 5	
JW6—105	105 ± 5	
JW6—115	115 ± 5	
JW6—125	125 ± 8	
JW6—135	135 ± 8	

2）JW2 ~ JW4 系列。用于电动机、变压器等过热保护或温度控制。当电动机频繁起动，或电动机未过电流但因电网电压过高、电动机负载非正常增大，热继电器不能迅速保护，温度继电器能保护电动机。其技术数据见表 1-149。

3）JW7 系列。电动机、发动机、变压器等的过热保护或温度控制，技术数据见表 1-150。

（5）中间继电器

1）JZ7 系列交流。电压至 AC 500V 控制电路中，一个电信号可同时给多个控制元件或将信号功率放大。其型号见图 1-16。双断点桥式触头，上下两层排列、每层四对触头。其技术数据见表 1-151。

表 1-149　JW2 ~ JW6 系列温度继电器技术数据

型号	额定动作温度/℃	误差/℃	低于动作温度的复位温度/℃	型号	额定动作温度/℃	误差/℃	低于动作温度的复位温度/℃
JW4—60/1	60	±1 ~ ±5	≤5	JW2—105H	105	±5	5 ~ 25
JW4—60/3				JW3—105		±2	5 ~ 20
JW4—70/1	70			JW4—110/1	110	±1 ~ ±5	≤5
JW4—70/3				JW4—110/3			
JW2—80H	80	±5	5 ~ 20	JW2—115H	115	±5	5 ~ 25
JW4—80/1		±1 ~ ±5	≤5	JW3—115		±2	5 ~ 20
JW4—80/3				JW4—120/1	120	±1 ~ ±5	≤5
JW4—90/1	90			JW4—120/3			
JW4—90/3				JW2—125H	125	±8	5 ~ 30
JW2—95H	95	±5	5 ~ 20	JW3—130	130	±3	5 ~ 20
JW3—95		±2		JW4—130/1		±1 ~ ±5	≤5
JW4—100/1	100	±1 ~ ±5	≤5	JW4—130/3			
JW4—100/3				JW2—135H	135	±8	5 ~ 30
				JW2—160H	160	±10	5 ~ 40

表 1-150　JW7 系列温度继电器技术数据

额定电压/V	额定断开温度/℃	额定断开温度允差/℃	复位温度	触头容量
AC 220	60、70、80、90、100、110、120、130、140、150	±5 ±8	低于额定断开温度 20℃以上	AC 220V、5A

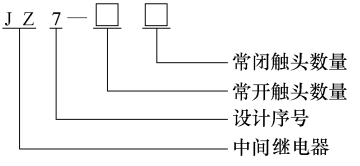


图 1-16　JZ7 系列中间继电器型号

2）JZ20 系列交流。50Hz、660V 或 DC 220V 控制电路中，增大信号功率及控制回路，技术数据见表 1-152。

3）DZ-30B 系列。属于电磁式中间继电器，其技术数据见表 1-153。

表 1-151　JZ7 系列中间继电器技术数据

型号	额定工作电压/V	额定工作电流/A	触头数量		操作频率(次/h)	电寿命/×10⁴次	机械寿命/10⁴次	线圈电压/V	线圈功耗/V·A
			常开	常闭					
JZ7—22	AC 308，DC 220	5	2	2	1 200	50	300	6.3、12、24、36、48、110、127、220、240、380、420、440、500	起动:75 吸持:13
JZ7—41			4	1					
JZ7—42				2					
JZ7—44				4					
JZ7—53			5	3					
JZ7—62			6	2					
JZ7—80			8	0					

表 1-152　JZ20 系列交流中间继电器技术数据

型号		额定绝缘电压/V	约定电热电流/A	额定控制功率 P_n			
				电压	$I_e=1A$	$I_e=6.3A$	$I_e=9A$
JZ20—1 140	JZ20—1 313	AC 660 DC 220	16	AC 220V	100VA	1.5kW	2.2kW
JZ20—1 131	JZ20—1 440			AC 380V		2.2kW	4.0kW
JZ20—1 122	JZ20—1 431			AC 500V		3.0kW	4.0kW
JZ20—1 113	JZ20—1 422			AC 660V		3.0kW	4.0kW
JZ20—6 110	JZ20—1 413						
JZ20—6 101	JZ20—1 540			DC 220V	60W		
JZ20—9 110	JZ20—1 531						
JZ20—9 101	JZ20—1 522						
JZ20—6 510	JZ20—1 513						
JZ20—6 501	JZ20—1 640						
JZ20—9 510	JZ20—1 631						
JZ20—9 501	JZ20—1 622						
JZ20—1 240	JZ20—1 613						
JZ20—1 231	JZ20—6 210						
JZ20—1 222	JZ20—6 201						
JZ20—1 213	JZ20—6 310						
JZ20—1 340	JZ20—6 301						
JZ20—1 331	JZ20—6 401						
JZ20—1 322	JZ20—6 410						

4）K 系列。50/60Hz、660V、约定发热电流至 10A 或直流控制容量为 30V·A 电气系统，技术数据见表 1-154。

表 1-153　DZ-30B 系列中间继电器技术数据

型号	额定电压 U_e/V	电阻/Ω	动作电压	返回电压	动作时间/s	功率消耗/W	触头数量	
							常开	转换
DZ—31B	12	46	≤70% U_n	≥5% U_n	U_n时为≤0.05	U_n时为≤5	3	3
	24	195						
	48	660						
DZ—32B	110	3 200					6	0
	220	12 750						

表 1-154　K 系列中间继电器技术数据

型号			K□□□						
额定绝缘电压/V			660						
线圈额定电压/V			36	110	127	220	380	500	660
额定工作电流/A			—	—	—	6	4	3	2
约定发热电流/A			10						
吸引线圈消耗功率	在闭合前瞬间	交流/V·A	60						
		直流/W	50						
	闭合后吸持时	交流/V·A	9						
		直流/W	2.2						
额定操作频率/(次/h)			3 000						
机械寿命/万次			3 000(操作频率1 800次/h)						

5）JTZ1 系列。用于电子、通信、数字控制中，技术数据见表 1-155。

表 1-155　JTZ1 系列中间继电器技术数据

型号	触头额定电压/V		触头额定电流/A	触头断开功率		触头组合	额定操作频率/(次/h)	线圈电压/V	线圈功率/W
	交流	直流		交流/V·A	直流/W				
JTZ1—33□	220	110	5	1 100	120	3 转换	1 200	DC9、12、24、48、110	DC1.5

6）DZ—50、DZ—60 系列。属于电磁式中间继电器，其技术数据见表 1-156。

7）ZJ3—□B 系列。电磁式快速中间继电器，电力系统二次回路继电保护和控制电路中，增加回路触头和容量。ZJ3—1B、2B 型有 1 个电压线圈；ZJ3—3B 型有 1 个电压线圈和 2 个电流保持线圈；ZJ3—4B 型有 1 个电压线圈和 3 个电流保持线圈；ZJ3—5B 型有 1 个电压线圈和 1 个电流线圈。技术数据见表 1-157。

表 1-156　DZ—50、DZ—60 系列中间继电器技术数据

型号		额定电压 U_e/V	动作电压	动作时间/s	功率消耗	触头数量		
						常开	常闭	转换
直流	DZ—51 DZ—61	6、12、24、36、48、60、110、220	≤75% U_e	≤0.03	≤5W	4		
							4	
						2	2	
								2
交流	DZ—52 DZ—62	6、12、24、36、48、60、110、127、220、380	≤85% U_n		≤6.5V·A	4		
							4	
						2	2	
								2

表 1-157　ZJ3—□B 系列中间继电器技术数据

型号	额定值		自保持值/A	动作值	保持值		返回电压/V	动作时间/s	触头数量	
	电压 U_e/V	电流 I_e/A							常开	转换
ZJ3—1B	24 48 110 220	—	—	动作电压（50%～70%）U_e	保持电流≤80% I_n		≥5% U_e	U_e、I_e时为≤0.007		2
ZJ3—2B									4	
ZJ3—3B			0.25 0.5 1 2 4						4	
ZJ3—4B									4	
ZJ3—5B	—	0.25、0.5、1、2、4	24V、48V、110V、220V	动作电流≤80% I_n	—	保持电压≤70% U_e			2	2

8）BZS—10 系列。晶体管式中间继电器，由 RC 回路、脉冲发生器、晶闸管触发器及中间继电器组成，用于高精度定、频繁操作延时动作、延时返回保护及控制电路。技术数据见表 1-158、表 1-159。

9）选用。主要考虑海拔、环境温度、湿度和电磁干扰等要素，装置关键部位选用高绝缘、强抗电性能的全密封型中间继电器。

考虑振动、冲击、碰撞等应力作用要素，对控制系统主要考虑到抗地震应力作用、抗机械应力作用能力，选用采用平衡衔铁机构的小型中间继电器。

表 1-158　BZS—10 系列中间继电器技术数据

型号		延时范围/s	延时一致性/s	延时平均误差	额定电压 U_n/V	动作电压	返回电压	功率消耗	触头数量
延时动作	BZS—11、11J	0.1～1	≤0.02	≤±2%	DC 24、DC 48、DC 110、DC 220	直流 ≤70% U_n	≥5% U_n	U_n时 直流 ≤10W	8 常开
	BZS—12、12J	0.2～2.5	≤0.05						6 常开，2 常闭
	BZS—13、13J	0.5～5	≤0.08						4 常开，4 常闭
	BZS—14、14J	1～10	≤0.1						2 常开，6 常闭
延时返回	BZS—15、15J	0.1～1	≤0.02		AC 110、AC 220	交流 ≤80% U_n		交流时 ≤10V·A	8 常闭
	BZS—16、16J	0.2～2.5	≤0.05						
	BZS—17、17J	0.5～5	≤0.08						
	BZS—18、18J	1～10	≤0.1						

表 1-159　BZS—10 系列中间继电器触头容量

额定电压 U_n/V	直流/A		交流/A	额定电压 U_n/V	直流/A		交流/A
	无感	有感 $t=(5\pm0.75)\times10^{-3}$s	$\cos\varphi=0.4\pm0.1$		无感	有感 $t=(5\pm0.75)\times10^{-3}$s	$\cos\varphi=0.4\pm0.1$
24	5	5	5	110	5	4	5
48				220	1	0.5	

励磁线圈输入参量要素，主要指过励磁、欠励磁、低压励磁与高压输出隔离、温度变化影响、远距离有线励磁、电磁干扰励磁等参量要素。

触头输出参量要素主要指触头负载性质，如阻性负载、容性负载、感性负载等；触头负载量值如低电平负载、干电路负载、小电流负载、大电流负载等。

（6）JD 系列漏电继电器　50Hz、一次电路电压至 660V、电流至 250A 电源中性点接地电路中，作漏电保护。用 1 对常开常闭转换触头输出漏电保护信号，与相同电流等级的带有分励或失电压脱扣器的断路器配用，获得漏电、过载、短路保护特性；也可配合接触器获得漏电保护性能。如单独使用，漏电或接地故障时发出报警信号。属纯电磁式漏电电流动作保护继电器，有零序电流互感器检测漏电信号，继电器接受互感器二次电路信号，驱动转换触头输出漏电保护信号。组装式将继电器和零序电流互感器

组装在一起，分装式将继电器和零序电流互感器有独立外壳，分别安装配合使用。

典型产品有 JD1、JD26、JD27、JD88、JD89 等。JD1 系列动作特性见表 1-160，JD26 型鉴相鉴幅无声运行漏电继电器技术数据见表 1-161，JD27 型漏电脉冲继电器见表 1-162，JD88 型鉴相鉴幅无声运行漏电继电器见表 1-163，JD89 型漏电脉冲继电器见表 1-164，JD166—100/3N 过电流鉴相鉴幅漏电保护器见表 1-165。

表 1-160　JD1 系列漏电继电器剩余电流动作特性

零序电流互感器	孔径/mm		30		40	
	额定电流/A		100		250	
	额定电压/V		660		660	
额定漏电动作电流/A			100	200	200	500
额定漏电不动作电流/A			50	100	100	250
漏电动作时间/s	$I_{\Delta e}$		≤0.1			
	$5I_{\Delta e}$		≤0.04			
转换触头	额定电压/V		380			
	额定电流/A		5			
	额定控制容量/V·A	接通	3 600			
		分断	360			
额定漏电短路电流/A			4 500			
机械寿命/次			10 000			
电寿命/次			6 050			

注：漏电动作时 $I_{\Delta e}$ 指漏电继电器动作时间，不含配用的断路器或接触器分断时间。

表 1-161　JD26 型鉴相鉴幅无声运行漏电继电器技术数据

额定电压	AC 380/220V
额定频率	50Hz
额定电流	10～40A、63～250A、400～630A
额定缓变动作电流	300/500mA(可调)
额定突变动作电流	75mA
最大分段时间	0.2s
延时重合点	20～30s
输出触头容量	380V、2A
节能效果	有功节电率 80%，无功节电率 95%

表 1-162　JD27 型漏电脉冲继电器技术数据

额定电压	AC 380/220V
额定电流	10～40A、63～250A
辅助电源额定电压	220V
额定漏电动作电流	200mA
额定脉冲动作电流	±40 mA
组合装置分断时间	≤0.2s
重合闸时间	20～60s

表 1-163　JD88 型鉴相鉴幅无声运行漏电继电器技术数据

额定工作电压	AC 380/220V
额定频率	50Hz
额定电流	10～40A、63～250A、400～630A
额定缓变动作电流	300/500mA(可调)
额定缓变不动作电流	150mA、250mA
额定突变动作电流	50mA、75mA
额定突变不动作电流	25mA、38mA
最大分段时间	≤0.2s
延时重合闸	20～30s
输出触头容量	380V、2A
节能效果	有功节电率 80%，无功节电率 95%

表 1-164　JD89 型漏电脉冲继电器技术数据

额定工作电压	AC 380/220V
额定频率	50Hz
额定电流	10～40A、63～250A
额定漏电动作电流	200mA
额定漏电不动作电流	100mA
额定脉冲动作电流	±40mA
组合装置分段时间	≤0.2s
重合闸时间	20～60s
辅助电源电压	AC 220V

表 1-165　JD166—100/3N 过电流鉴相鉴幅漏电保护器技术数据

额定电压、频率	AC 380V、50Hz
额定辅助电压	220V
额定电流	100A
额定限制短路电流	6 000A(熔断器 RT0)

（续）

额定短路接通、分段能力	1 000A
额定突变动作电流	50mA、75mA
额定缓变动作电流	300mA、500mA
最大分段时间	≤0. 2s
延时重合闸时间	20 ~ 30s

（7）电压继电器

1）JY—1 型。用于输电线路、电动机保护中作过电压保护或低电压闭锁起动元件，带红色掉牌信号，信号牌可手动复位，整定时直接操作面板拨轮开关；JY—1/G 型为过电压继电器；JY—1/D 型为低电压继电器。JY—1 型继电器技术数据见表 1-166。

表 1-166　JY—1 型继电器技术数据

型号	电压标度范围/V	电压整定范围/V	级差/V
JY—1/G JY—1/D	4 ~ 103	4 ~ 103	1
	100 ~ 298	100 ~ 298	2
	190 ~ 480	190 ~ 480	3

2）DJ—100 系列。继电保护装置电路中作为过电压保护或低电压闭锁动作元件，技术数据见表 1-167。

表 1-167　DJ—100 系列电压继电器技术数据

名称	型号	电压整定范围/A	长期允许电压/V		触头数量		返回系数	最小整定电压时功耗/W
			线圈串联	线圈并联	常开	常闭		
过电压继电器	DJ—111A	15 ~ 60 50 ~ 200 100 ~ 400	70 220 440	35 110 220	1		0. 8	1
	DJ—121A	15 ~ 60 50 ~ 200 100 ~ 400	70 220 440	35 110 220		1		
	DJ—131A	15 ~ 60 50 ~ 200 100 ~ 400	70 220 440	35 110 220	1	1		
	DJ—131A/60C DJ—131A/60CN	15 ~ 60 15 ~ 60	220 220	110 110	1	1	0. 8	1

（续）

名称	型号	电压整定范围/A	长期允许电压/V		触头数量		返回系数	最小整定电压时功耗/W
			线圈串联	线圈并联	常开	常闭		
低电压继电器	DJ—112A	12～48 40～160 80～320	70 220 440	35 110 220	1		1.25	1
	DJ—122A	12～48 40～160 80～320	70 220 440	35 110 220		1		
	DJ—132A	12～48 40～160 80～320	70 220 440	35 110 220	1	1		

3）JY—20 系列。变压器和输电线路继电保护中，作过电压保护或低电压闭锁起动元件。JY—20 系列属集成电路静态型继电器；JY—21 型为过电压继电器；JY—22 型为低电压继电器，技术数据见表 1-168 和表 1-169。

表 1-168　JY—20 系列电压继电器技术数据

型号	电压整定范围/V	触头数量		直流辅助电压/V	返回系数	最大整定值时功耗/V·A
		常开	常闭			
JY—21A	0.5～99.5	1	1	24 48 110 220	≥0.95	≤0.5
JY—21B	40～439					
JY—22A	0.5～99.5				≤1.05	
JY—22B	40～439					

表 1-169　JY—20 系列电压继电器功率消耗数据

额定直流辅助电压/V	直流功率消耗/W		额定直流辅助电压/V	直流功耗/W	
	动作前	动作后		动作前	动作后
24	1	2	110	2	5
48	2	4	220	3	7

4）选用。了解控制电路的电源电压、被控制电路中的电压、被控电路的触头形式。选用时，控制电路的电源电压可作为选用依据，再确定继电器的型号和规格、考虑尺寸等。

（8）电流继电器

1）JTX 系列小型通用继电器。直流或交流，自动装置、继电保护装置、信号装置和通信设备中作信号指示和启闭电路元件。其技术数据见表 1-170 和表 1-171。

表 1-170　JTX 系列小型通用继电器技术数据

产品规格		触头数量	线圈电阻/Ω	吸动值	释放值	工作电流/mA
交流/V	6	1 对、2 对或 3 对转换	5.5	≤5.1V	—	415
	12		24	≤10.2V		208
	24		92	≤20.4V		102
	36		190	≤30.6V		69
	110		1 600	≤93.5V		24.2
	127		2 000	≤108V		19
	220		7 500	≤187V		11.5
直流/V	6		40	≤5.1V	≥2.7V	150
	12		150	≤10.2V	≥5.4V	80
	24		570	≤20.4V	≥10.8V	42
	48		2 230	≤40.8V	≥21.6V	21.5
	110		10 000	≤93.5V	≥49.5V	11
	202		20 000	≤187V	≥99V	11
直流/mA	20		3 000	≤18mA	≥8.1mA	—
	40		500	≤36mA	≥16.2mA	

表 1-171　JTX 系列小型通用继电器最大触头负载技术数据

电压值/V		电流值/A			
		JTX—1，JTX—2		JTX—3	
		电阻负载	电感负数	电阻负载	电感负载
交流	220	7.5	3	5	2
	380	3	1.5	2	1
直流	6	7.5	7	5	4.6
	12	7	6.5	4.6	4.3
	24	4.5	4	3	2.4
	220	1	0.5	1	

2）JL—6 型电流继电器。电力系统、电动机过载和短路保护中作起动元件，集成电路静态型继电器，带红色掉牌信号，信号牌可手动复位。过电流继电器 JL—6/G 、JL—6/D 技术数据见表 1-172 和表 1-173。

表 1-172　JL—6 型电流继电器技术数据

动作时间	1.1 倍整定值时 0.055s,2.3 倍整定值时 0.03s
返回系数	过流继电器 >0.97,低电流继电器 <1.03
功率消耗	线圈电流 1A 时 <0.5V·A;5A 时 <1V·A
直流功率消耗	直流辅助电源电压 110V 时 <2W,220V 时 <4W
触头数量	2 对

表 1-173　JL—6 型电流继电器电流整定范围

型号	电流整定范围/A	级差/A	长期允许电流/A
JL—6/G JL—6/D	0.01 ~ 0.5	0.005	1
	0.2 ~ 10	0.1	1.5
	5 ~ 50	0.5	20
	10 ~ 100	1	20

3）JQX—13 系列小型大功率电磁继电器。体积小、通断负载电流大，自控、通信及继电保护装置中作换接交直流电路，技术数据见表 1-174。

表 1-174　JQX—13 系列继电器额定电压、吸合电压及释放电压

额定电压/V	直流									
	6	12	18	24	36	48	60	110	127	220
线圈电阻/Ω	19	74	175	300	612	950	1 500	5 500	8 243	21 560
吸合电压	≤75% 额定电压									
释放电压	≥20% 额定电压									

额定电压/V	交流							
	6	12	24	36	110	127	220	380
线圈电阻/Ω	2	8	34	73.4	740	1 034	2 800	8 600
吸合电压	≤75% 额定电压							
释放电压	≥30% 额定电压							

4）JL14 系列交直流电流继电器。AC 380V 或 DC 440V 电路中作过电流或欠电流继电器，技术数据见表 1-175 ~ 表 1-177。

3. 继电器选用与维护

（1）选用

1）电压继电器：线圈电流种类、电压等级与控制电路一致；选择过电压还是低电压类型；按控制电路要求选触头类型，如常开/常闭、触头数量。

2）电流继电器：线圈电流种类和电压等级与负载电路一致；根据控制电路，如过电流还是低电流类型；按控制电路要求触头类型，如常开/常闭、触头数量。

表 1-175　JL14 系列电流继电器规格型号及技术数据

电流种类	型号	吸引线圈额定电流 I_n/A	吸合电流调整范围	触头组合形式	备注
直流	JL14—□□Z	1、1.5、2.5、5、10、15、25、40、60、100、150、300、600、1 200、1 500	(70% ~300%) I_n	3 常开　3 常闭 2 常开　1 常闭 1 常开　2 常闭 1 常开　1 常闭 2 常开　2 常闭 1 常开　1 常闭	
	JL14—□□ZS		(30% ~65%) I_n 或释放电流在(10% ~20%) I_n 范围调整		手动复位
	JL14—□□ZQ				欠电流
交流	JL14—□□J		(110% ~400%) I_n		
	JL14—□□JS				手动复位
	JL14—□□JG			1 常开　1 常闭	返回系数大于 0.65

注：JL14—□□JG 型线圈额定电流无1 200 A、1 500 A；JL14—□□J、JL14—□□JS 型线圈额定电流无1 500A。

表 1-176　JL14 系列电流继电器触头电寿命

触头额定电流/A	触头电压/V		接通电流/A	开断电流/A		电寿命/万次	cosφ
				电感负载	电阻负载		
5	交流	380	22	2.2	2.2	50	0.3 ~0.4
	直流	110	6	1	2		—
		220	3	0.5	1		

表 1-177　JL14 系列电流继电器电器触头最大通断能力

电压/V		最大接通电流/A	最大断开电流/A		cosφ	通断次数
			电感负载	电阻负载		
交流	380	50	5	5	0.3 ~0.4	20
直流	110	7.5	1	2.5	—	
	220	4	0.5	1		
	440	2	0.25	0.5		

3）热继电器：

① 热元件整定电流范围应覆盖电动机的额定电流，整定电流值 = 电动机额定电流，热继电器应可调节电流范围；若不可调节，整定电流与电动机额定电流之差不大于 5%。

② 过载动作特性与被保护电动机允许发热特性匹配。

③ 按电动机接线，选合适的热继电器。当绕组Y联结时，选两相或三相不带断相保护的热继电路电器；当△联结时，如热继电器接入电流线路

内，必须用带有断相保护的热继电器；如热继电器接入相电流线路内，选不带断相保护的三相热继电器。

④ 保护反复短时工作制电动机时，应考虑操作频率。

4）漏电继电器：漏电保护器与带有分励脱扣器或失电压脱扣器的断路器、接触器、电磁起动器等组合使用，当回路中漏电电流达到整定值时切断主电路；出现漏电故障时，在某些不允许断电而能发出报警信号电路中，可采用与报警电路联合使用。

（2）安装

① 检查铭牌。线圈额定电压、电流、整定值、延时等参数、触头数和开闭数等。

② 继电器活动部分动作灵活、可靠，外罩及壳体无损坏无缺损。

③ 检查接线。使用导线合理，常开常闭触头分清、接线紧固。

④ 对电磁式控制继电器，主触头不带电时用螺钉旋具推动触头或带电操作，检查继电器动作灵活可靠。

⑤ 对保护用继电器，如过电流、欠电压继电器等，按控制要求检查整定值后投入运行。

（3）运行和维护　观察继电器工作，及时处理异常状态；适时检查继电器，无松动、损坏、锈蚀，活动部分灵活；触头清洁、接触可靠，若触头磨损至原厚度的1/3时，及时更换继电器；若有较严重烧损、毛刺等，用小锉刀清理，用酒精或四氯化碳擦净表面，或更换继电器；使用时，注意温度、湿度等急剧变化，冲击振动及有害气体等，采取防护措施。

（4）常见故障及处理　见表1-178。

表1-178　继电器常见故障及处理

故障	分　　析	处　　理
触头黏着	触头熔焊造成，使用不当、安装不规范、负载重或操作频繁等	查继电器是否在冲击、振动环境；再查工作电压波动时是否可靠吸合，如是，调整电压，如不是，则根据负载容量选择继电器
触头接触不可靠	①接触电阻增加，触头温升过高或不导通，一般是使用时间长，触头表面氧化电弧烧蚀造成缺陷、毛刺等 ②触桥变形或弹性连接片变形、弹簧参数变化等原因	①用小锉刀锉去触头表面毛刺，修好后用棉纱沾酒精或四氯化碳擦掉污物，检查触头是否需调整，可靠时通电使用 ②检查机械故障并校正，再检查触头接触完好

（续）

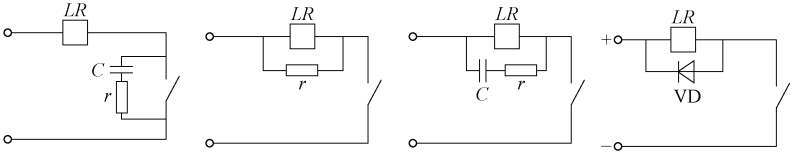
故障	分　　析	处　　理
触头磨损快、电弧大		采取灭弧措施，或选择适合的继电器
线圈损坏	①如电压错或长时间电压≥110% U_e，线圈过热或烧毁 ②当吸引电压 <80% U_e，可能吸合不稳定或因机构不灵活或有异物铁心卡死，电流增加，线圈迅速烧毁 ③绝缘结构损坏匝间短路，对直流短路匝少，影响不大；对交流会迅速蔓延造成烧毁	①核对电源，工作电压与线圈额定电压一致 ②交流线圈吸引电压应与额定电压一致 ③使用环境及维护时不使线圈受损
使用环境恶劣造成线圈损坏	环境有粉尘、油污、腐蚀性气、液体及水蒸气、机械冲击等	立即检查并及时采取相应措施
线圈不能吸合	①电压过低或衔铁卡住，磁系统通电时产生嗡嗡声，时间过长或多次试验，线圈过热 ②线圈内部断线开路，引出端断路或接触不良	①用万用表检查 ②用万用表检查
铁心不能释放	交流 E 形铁心中柱气隙因极面磨损或油污黏着，铁心不能释放，环境温度较低时易发生	清理极面，擦去油垢，如气隙不够时用小锉刀将中柱极面修锉，0.01 ~0.12mm 即可
交流铁心吸合后噪声严重	①短路环断裂，吸力不够 ②极面不平、极面锈蚀严重或反力弹簧力大等	①拆下补焊或更换同尺寸同材料的短路环 ②若极面及弹簧均不易调整时，应更换
直流铁心剩磁黏着不能释放	机械磨损、非磁性垫片损坏，衔铁闭合后气隙变小	更换新的非磁性垫片
运动不灵活或卡住	转轴和棱角转动长期磨损	不便修复或修后不能使用时，应更换零部件或整套

（续）

故障	分　　析	处　　理
不能保持正常的安装关系	紧固件松脱	按照规范安装牢固
零件产生变形及磨损	使用时间太长	更换新继电器
延时动作不准确	密封继电器漏气造成	更换气囊或新继电器

应注意的是，继电器出厂即符合标准，但触头磨损太快时可采取灭弧措施，见图 1-17a，在开关端并联 rC，C 取 0.2～1μF；在负载 LR 并联分路，图 1-17b 中，r 取（5～10）R，触头接触时 r 要耗能；图 1-17c 可避免此缺点，触头接触后，rC 分路中无稳态直流电流，按 $L/C<[(R+r)/2]^2$ 选 LC，避免并联电路振荡；图 1-17d 作用同图 1-17c，整流器方向应使触头接通时电流不通过整流器，当触头断开时同放电电流方向相反，将磁能消耗在并联回路中，二极管不能接反。

继电器增加保护环节也增加了故障点。继电器触头产生电弧可能造成对其他元件的危害或在隔爆等环境中，应考虑上述保护。



a) 开关端并联 rC　　b) 线圈并联 r　　c) 线圈并联 rC　　d) 线圈并联二极管

图 1-17　继电器触头的消弧

八、凸轮控制器

1. 基本结构与应用

凸轮控制器的动、静触头的动作原理与接触器类似，又称为接触器式控制器，人工操纵，是大型的控制电器，多档位、多触点，转动凸轮通断大电流的触头转换开关，可直接用于主电路。结构紧凑、性能可靠、调整方便。开关与凸轮片不接触，无火花、无压力，动作灵敏可靠。

由静触头、动触头、杠杆、凸轮、转轴和手轮组成。主要用于起重设备中控制小型绕线转子异步电动机的起动、停止、调速、换向和制动，或电力

拖动的场合，如卷扬机等。

2. 主要类型

（1）KP3 系列平面控制器　电力拖动控制中，用于变换主电路或励磁电路的接法和电路电阻，控制电动机起动、换向、制动及调速。该系列有平面触头转换装置，用手柄或伺服电动机通过传动机构带动动触头，在平面静触头上按预先指定的顺序作旋转或往复运动，控制多个电路。它是 1 种手动操作的盘式双杆电池换接器，用以改变电池组接入电池的数量，放电时保持直流母线电压不变及蓄电池充电时保持电流。控制器用一正方形绝缘板作基座，上装 22 个换接片，板上装有大、小接触环各一个。两只带有刷形的动触头分别装在手轮下方两个彼此绝缘的大小动臂上。动臂沿换接片和接触环移动。小动臂充电，大动臂放电。其技术数据见表 1-179。

表 1-179　KP3 系列平面控制器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A
KP3—200	≤250	200
KP3—350	（直流）	350

（2）KT 系列凸轮控制器　50Hz、380V 电路中作起重用电动机起动、调速和换向。用半封闭式纵缝陶土灭弧罩，强磁吹弧电路，灭弧能力强。常用有 KT10、KT12、KT14、KTJ1、KTJ5、KTJ15、KTJ 等系列。KT14 系列技术数据见表 1-180，KT10 系列技术数据见表 1-181，KT12 型见表 1-182，KTJ1 型见表 1-183，KTJ15 型见表 1-184。

表 1-180　KT14 系列凸轮控制器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	工作位置数		通电持续率 25% 时控制的电动机	
			向前（上升）	向后（下降）	转子最大电流/A	最大功率/kW
KT14—25J/1	380	25	5		32	11
KT14—25J/2					2×32	2×5.5
KT14—25J/3			1		32	5.5
KT14—60J/1		60	5		80	30
KT14—60J/2					2×32	2×11
KT14—60J/4					2×80	2×30

注：额定电流指定子电路的电流；最大控制功率指 JZR2 系列电动机时的功率，YZR 及其他系列电动机，可根据电动机定子及转子电流选择型号。

表 1-181　KT10 系列凸轮控制器技术数据

型号	档位数		额定工作电压/V	额定工作电流/A（定子电路、转子电路）	电寿命/万次	辅助电路			通电持续率
	左	右				约定发热电流/A	控制功率/V·A	电寿命	
KT10—25J/1	5		380	11	5	5	300	20	40%
KT10—25J/2	5								
KT10—25J/3	1								
KT10—25J/5	5								
KT10—60J/1	5			25					
KT10—60J/2	5								
KT10—60J/3	1								
KT10—60J/5	5								

注：操作频率超额定值时，必须降低控制器额定功率；其中零位触头、电阻电路触头在 75 万次后允许更换；操作次数 600 次/h；辅助触头约定发热电流 10A；最大工作周期 10min。

表 1-182　KT12 凸轮控制器技术数据

型号	额定电流/A	额定电压/V	工作位置数		通电持续率 40% 时控制电动机最大功率/kW		转子电路触头电流/A	
			向前（上升）	向后（下降）	220V	380V	额定电流	通电持续率 40% 最大电流
KT12—25J/1	25	380	5		7.5	11	30	50
KT12—25J/2			5		2×3.5	2×5.5	50	2×25
KT12—25J/3			1	1	7.5	11	—	

表 1-183　KTJ1 凸轮控制器技术数据

型号	额定电流/A	额定电压/V	工作位置数		通电持续率 40% 时控制电动机最大功率/kW		转子电路触头电流/A	
			向前（上升）	向后（下降）	220V	380V	额定电流	通电持续率 40% 最大电流
KTJ1—50/1	50	380	5		11	16	50	75
KTJ1—50/2			5		(1)	(1)		
KTJ1—50/3			1		7.5	11		
KTJ1—50/5			5		2×5	2×7.5	50	2×75
KTJ1—80/1	80		6		22	22	80	120
KTJ1—80/2					(2)	(2)	80	2×120
KTJ1—80/3					22	20		
KTJ1—80/5			5		2×7.5	2×11	50	2×75

注：由定子回路接触器功率而定；无定子电路触头。

表 1-184 KTJ15 凸轮控制器技术数据

型号	U/V	I/A	最多控制档位		最多触头元件数		控制电动机功率/kW	通断能力/A 418V, cosφ = 0.65		机械寿命/万次	AC-2 电寿命/万次
			左	右	主电路	辅助电路		接通	分断		
KTJ15—32	380	32	6	6	12	3	15	128	128	300	30
KTJ15—63		63					30	252	252		

注：手柄操作力≤40N；辅助触头额定工作电流 2.6A；AC－15 电寿命 60 万次。

3. 选用与维护

（1）选用　KT14—25J/1 及 KT14—60J/1 型控制 1 台三相绕线转子异步电动机，KT14—25J/2 及 KT14—60J/2 型同时控制 2 台三相绕线转子异步电动机，KT14—60J/3 型控制 1 台三相型异步电动机。KT14—60J/4 型同时控制 2 台三相绕线转子异步电动机，但不带定子电路的触头。

（2）凸轮角度的调整　用随机专用扳手松开主轴两端的锁紧螺母；用随机专用扳手的另一端调整至所需角度；用随机专用扳手旋紧主轴两端的锁紧螺母。

以上所述为卧式凸轮控制器，三线制输出方式分为常开、常闭、一开一闭，常开、常闭、一开一闭，二线制输出方式分常开和常闭。

① 按照电器原理图的要求，分别逐档操作控制器，观察触头的分合与接线图中触头分合程序相符，如不符，应调整，所有导线由基座下端两接线孔引出。

② 通电前必须检查电动机和电阻器有关电气系统的接线正确，接地可靠；通电后应按相应凸轮控制器检查电动机运转情况，若有异常应立即切断电源，查明原因后方可继续通电。

（3）检修　所有螺钉联接部分必须紧固，特别是触头接线螺钉；摩擦部分应经常保持一定的润滑；触头表面无明显熔斑，烧熔部分用细锉刀精心修理，不可用砂纸打磨；损坏的零件要及时更换。

九、起动器

1. 基本结构与应用

分直接起动器和减压起动器。磁力起动器是直接起动器，减压起动主要

有热自耦减压起动、Y-△减压起动和频敏电阻起动。大于0.5kW的电动机起动，必须使用磁力起动器。由钢外壳与底板、交流接触器、热继电器和配线组成，使用时配按钮。

热自耦减压起动通过自耦变压器在起动时降低电动机电压，同时降低起动电流。降低为额定电压的55%～75%，但自耦变压器，成本高、体积大。

Y-△减压起动通过改变电动机的联结方式改变起动电压，只适用于△联结的电动机。起动时，电动机为Y联结方式，此时电动机每相电压降为原来的$1/\sqrt{3}$，电动机转速到额定转速的80%，改变电动机接线为△联结正常运转。可节省自耦变压器，成本低，可靠性高。但无法改变起动电压的比率。

频敏电阻起动是在电动机起动时在主路中串联频敏电阻，降低起动电流。频敏电阻能平滑地改变起动电流。但大功率频敏电阻采用电感，产生较大的电磁涡流，降低电网的功率因数。

2. 主要类型

（1）QC25系列电磁起动器　50/60Hz，电压至660V、额定功率至75kW交流电动机直接起停、正反转控制，并对笼型电动机过载、断相、失电压保护，技术数据见表1-185。

表1-185　QC25系列电磁起动器的主要技术参数

型号	额定绝缘电压/V	约定发热电流/A	额定工作电压/V	额定工作电流/A	可控制电动机最大功率/kW	接触器型号	热继电器型号	热继电器整定电流范围/A
QC25—4	660	10	660	5.2	4	CJ20—10	JR20—10	1.2～11.6
			380	9	4			
			220	9	2.2			
QC25—7.5		16	660	9	7.5	CJ20—16	JR20—16	3.6～18
			380	16	7.5			
			220	16	4.5			
QC25—11		25	660	14.5	13	CJ20—25	JR20—25	7.8～29
			380	25	11			
			220	25	5.5			

（续）

型号	额定绝缘电压/V	约定发热电流/A	额定工作电压/V	额定工作电流/A	可控制电动机最大功率/kW	接触器型号	热继电器型号	热继电器整定电流范围/A
QC25—22	660	45	660	25	22	CJ20—40	JR20—63	16～55
			380	45	22			
			220	45	11			
QC25—30		63	660	40　25	35　22	CJ20—63	JR20—63	16～71
			380	60	30			
			220	60	17			
QC25—50		100	660	60	50　36	CJ20—100	JR20—160	33～115
			380	100	50			
			220	100	28			
QC25—75		160	660	100　60	85　50	CJ20—160		33～176
			380	150	75			
			220	150	43			

（2）QJ 系列自耦减压起动器　50Hz、380V、功率至 75kW 三相笼型异步电动机，作不频繁减压起动，有过载和欠电压保护。QJ10 系列自耦起动器技术数据见表 1-186，QJ3 系列技术数据见表 1-187，QJU3 系列技术数据见表 1-188。

表 1-186　QJ10 系统自耦起动器技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	控制电动机功率/kW	自耦变压器功率/kW	热继电器整定电流值/A	最大起动时间/s
QJ10—10	380	20.5	10		20.5	30
QJ10—13		25.7	13		25.7	40
QJ10—17		34	17		34	40
QJ10—22		43	22		43	40
QJ10—30		58	30		58	40
QJ10—40		77	40		77	60
QJ10—55		105	55	105	105	60
QJ10—75		142	75	142	142	60

表 1-187　QJ3 系列自耦减压起动器技术数据

型号	额定电压/A	额定功率/kW	额定电流/A	热继电器整定电流/A
QJ3—10	380	10	20	22
QJ3—14		14	27.4	32
QJ3—20		20	38.7	45
QJ3—28		28	53	63
QJ3—40		40	75	85
QJ3—55		55	103	120
QJ3—75		75	138	160

表 1-188　QJU3 系列自耦减压起动器技术数据

型号	额定电压/V	额定功率/kW	额定电流/A	热继电器整定电流/A
QJU3—10	380	10	20	整定电流等于电动机额定电流
QJU3—14		14	29	
QJU3—17		17	36	
QJU3—20		20	42	
QJU3—22		22	45	
QJU3—28		28	59	
QJU3—30		30	60	
QJU3—40		40	80	
QJU3—45		45	85	
QJU3—55		55	110	
QJU3—75		75	142	
QJU3—100		100	190	

（3）QX 系列Y-△起动器　50/60Hz 三相笼型异步电动机作Y-△换接起停。起动中由时间继电器控制电动机绕组Y联结起动后→△联结，热继电器保护。QJX12 系列Y→△减压起动器用于 50/60Hz、额定电压至 660V、额定电流至 95A 电路中，作电动机起动装置，有时间继电器自动Y→△转换。QX3 系列起动器技术数据见表 1-189，QJX2 系列Y-△减压起动器技术数据见表 1-190、表 1-191。

表 1-189　QX3 系列起动器技术数据

型号	控制电动机最大功率/kW				线圈电压/V		热元件	
	220V	380V	500V		50Hz	60Hz	额定电流/A	调节范围/A
QX13—13/K	7.5	13	13		220 380 550	220 380 440	11	6.8～11
QX13—13/H							16 22	10～16 14～22
QX13—30/K	17	30	30				32	20～32
QX13—30/H							45	28～45

表 1-190　QJX2 系列Y-△减压起动器技术数据

型号	额定工作电流(AC-3)/A	三相电动机功率(AC-3)/kW			
		220V	380V	415V	440V
QJX2—123	12	5.5	11	11	
QJX2—183	18	11	15	22	
QJX2—253	25	11	18.5	22	
QJX2—323	32	15	25	25	
QJX2—403	40	18.5	37	37	
QJX2—503	50	25	55	59	
QJX2—803	80	37	75	75	
QJX2—953	95	45	80	80	

表 1-191　QJX2 系列Y-△减压起动器产品组成

380V 三相笼型电动机功率、电流			产品型号	配热继电器	电流整定范围/A	配熔断器
kW	A	A($0.58I_e$)				
9	18.5	10.7	QJX2—12	JRS1—12 316	10～13	20
10	20	11.6				
11	22	12.8				25
15	30	17.4	QJX2—18	JRS1—16 321	13～18	32
18.5	37	21.5		JRS1—25 322	18～25	40
18.5	37	21.5	QJX2—25			
22	44	25.5	QJX2—32	JRS1—32 353	23～32	50
25	52	30.2				63
22	44	25.5	QJX2—40	JRS1—40 353		50
25	52	30.2				63
30	60	34.8			30～40	63
30	60	34.8				80
33	68	39.5		JRS1—63 357	38～50	
37	72	41.8	QJX2—50			
40	79	45.8		JRS1—63 359		
45	85	49.3			48～57	100
51	98	56.3		JRS1—63 361		
55	105	60.9			57～66	125
59	112	65	QJX2—80			
63	117	67.9		JRS1—80 363	63～80	
75	138	80			63～80	
80	147	85.3	QJX2—95	JRS1—F 1 051	75～105	160

（4）QZ73 系列综合电磁起动器　电压至 AC 500V 电路中，远距离直接起停功率至 12.5kW 的三相异步电动机，有失电压、过载和短路保护，型号见图 1-18。其技术数据见表 1-192 ~ 表 1-195。

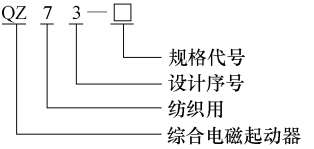


图 1-18　QZ73 系列综合电磁起动器型号

表 1-192　QZ73 系列综合电磁起动器元件种类及数量

	QZ73—1	QZ73—2	QZ73—3	QZ73—4	QZ73—5	QZ73—6	QZ73—7	QZ73—8	QZ73—9	QZ73—10
CJT1—40 交流接触器	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—
JR0—40 热继电器	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RL1—15 熔断器	3	5	3	—	3	—	2	—	—	—
RL1—60 熔断器	—	3	3	—	3	3	3	3	—	—
HZ10—10/2 组合开关	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—
HZ3—133 组合开关	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BK—50 变压器	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
LA2 按钮	—	—	—	—	2	2	—	—	2	2
RL1—60 熔断器	—	—	—	3	—	3	3	3	3	3

表 1-193　综合起动器特性

综合起动器型号	热继电器额定电流/A	额定电流范围/A	熔断器额定电流/A
QZ73—1、2、4、6	1、1.6、2.5、4、6.4	0.64 ~ 1	2、4
		1 ~ 1.6	4、5、6
		1.6 ~ 2.5	6、10
		2.5 ~ 4	10、15
		4 ~ 6.4	15

（续）

综合起动器型号	热继电器额定电流/A	额定电流范围/A	熔断器额定电流/A
QZ73—3、5、7	10 16	6.4～10 10～16	20、25、30 35、40、50
QZ73—3、5、7、8、9、10	25	16～25	50、60

表 1-194　综合起动器控制电动机最大功率

型　　号	线圈电压/V	控制电动机最大功率/kW	
		220V	380V
QZ73—1	127、220、380	1.8	3.2
QZ73—2	36、380	—	3.2
QZ73—3		—	10
QZ73—4	220、380	1.8	3.2
QZ73—5		5.8	10
QZ73—6		1.8	3.2
QZ73—7		5.8	10
QZ73—8		—	12.5
QZ73—9		7	
QZ73—10		7	

表 1-195　QZ73 综合起动器技术数据

型号	热继电器额定电流/A	控制电动机最大功率/kW		额定电流范围/A
		220V	380V	
QZ73—1、2、4、6	1.1	1.8	3.2	0.68～1.1
	1.6			1.0～1.6
	2.4			1.5～2.4
	3.5			2.2～3.5
	5.0			3.2～5.0
	7.2			4.5～7.2
QZ73—3、5、7	11	5.5	10	6.8～1.1
	16			10～16
	20			14～22
QZ73—8、9、10	22	7	10	14～22

（5）DRB、DEB、MSB 系列电磁起动器　50/60Hz、额定电压至 660V、额定电流至 15.5A，远距离控制电动机起停，有过载、断相和失电压保护。技术数据见表 1-196，热继电器整定电流范围见表 1-197。

表 1-196　DRB、DEB、MSB 系列电磁起动器技术数据

型号	额定绝缘电压/V	额定工作电流/A		额定控制功率/kW		线圈额定电压/V	辅助触头		热继电器常开触头			线圈功率/V·A	
		380V	660V	380V	660V		380V时额定工作电流/A	触头数	型号	约定发热电流/A	380V时额定工作电流/A	起动	吸持
DRB—9 DEB—9 MSB—9	660	8.5	3.5	4	3	24、36、48、110、127、220、380	4	1（常开）	T16	6	2	60	9（2.2W）
DRB—12 DEB—12 MSB—12		11.5	4.9	5.5	4								
DRB—16 DEB—16 MSB—16		15.5	6.7	7.5	5.5								

表 1-197　DRB、DEB、MSB 系列电磁起动器配用热继电器整定电流范围

型号	配热继电器					
	型号	额定绝缘电压/V	额定工作电流/V			整定电流范围/A
			220V	380V	500V	
DRB—9 DEB—9 MSB—9	T16	660	3	2	1	0.11～0.16、0.14～0.21、0.19～0.29、0.27～0.40、0.35～0.52、0.42～0.63、0.55～0.83、0.7～1.0、0.9～1.3、1.1～1.5、1.3～1.8、1.5～2.1、1.7～2.4、2.1～3.0、2.7～4.0、3.4～4.5、4.0～6.0、5.2～7.5、6.3～9.0
DRB—12 DEB—12 MSB—12						7.5～11.0、9.0～13.0
DRB—16 DEB—16 MSB—16						12.0～17.6

（6）QC25 系列电磁起动器　50/60Hz、额定电压至 660V、额定电流至 150A，供电动机直接起停与正反转控制，有过载、断相和失电压保护，技术数据见表 1-198。

表 1-198　QC25 系列电磁起动器技术数据

型号	额定绝缘电压/V	额定工作电压/V	约定发热电流/A	额定工作电流/A		额定控制功率/kW		辅助触头对数	配接触器型号	配热继电器	
				IP00	IP40、IP55	IP00	IP40、IP55			型号	电流范围/A
QC25—4	660	660	10	5.2		4	4	2 常开、2 常闭	CJ20—10	JR20—10	0.1～0.13～0.15、0.15～0.19～0.23、0.23～0.29～0.35、0.35～0.44～0.53、0.53～0.67～0.8、0.8～1～1.2、1.2～1.5～1.8、1.8～2.2～2.6、2.6～3.2～3.8、3.2～4～4.8、4～5～6、5～6～7、6～7.2～8.4、7～8.6～10、8.6～10～11.6
		380		9							
		220				2.2	2.2				
QC25—7.5		660	16	9		7.5	7.5		CJ20—16	JR20—16	3.6～4.5～5.4、5.4～6.7～8、8～10～12、10～12～14、12～14～16、14～16～18
		380		16							
		220				4.5	4.5				
QC25—11		660	25	14.5		13	13		CJ20—25	JR20—55	7.8～9.7～11.6、11.6～14.3～17、17～21～25、21～25～29
		380		25		11	11				
		220				5.5	5.5				
QC25—22		660	40	25		22	22		CJ20—40	JR20—63	16～20～24、24～30～36、32～40～47、40～47～55
		380		45							
		220				11	11				
QC25—30		660	63	40	25	35	22		CJ20—63	JR20—63	47～55～62、55～63～71
		380		60		30	30				
		220				17	17				
QC25—50		660	100	60	40	50	35		CJ20—100	JR20—160	33～40～47、47～55～63、63～74～84、74～86～98、85～100～115、100～115～130、115～132～150、130～150～170、144～160～176
		380		100			50				
		220				28	28				
QC25—75		660	160	100	60	85	50		CJ20—160		
		380		150		75	75				
		220				43	43				

（7）QX10 系列Y-△起动器　60Hz、380V、功率至 75kW 三相笼型电动机，作Y-△起停，技术数据见表 1-199。

表 1-199　QX10 系列Y-△起动器技术数据

型号	额定电压/V	热继电器额定电流/A	控制电动机最大功率/kW		线圈额定电压/V
			220V	380V	
QX10—13	380	32	7.5	13	50Hz,36、110、220、346、380、400；60Hz,36、380、400
QX10—30		32	17	30	
QX10—55		60	30	55	
QX10—75		150	40	75	

（8）QJ3 系列自耦减压起动器　50Hz、电压至 440V、功率至 75kW 三相笼型电动机，作不频繁降压起动、运行及过载保护和手动停止，技术数据见表 1-200。

表 1-200　QJ3 系列自耦减压起动器技术数据

型号	电压 220V,50/60Hz				电压 380V,50/60Hz				电压 440V,50/60Hz			
	控制电动机功率/kW	额定工作电流/A	热保护额定电流/A	最大起动时间/s	控制电动机功率/kW	额定工作电流/A	热保护额定电流/A	最大起动时间/s	控制电动机功率/kW	额定工作电流/A	热保护额定电流/A	最大起动时间/s
QJ3—Ⅰ				30	10	22	25	30	10	19	25	30
	8	2	40		14	30	40		14	26	40	
	10	37	40	40	17	38	40	40	17	33	40	40
	11	40	45		20	43	45		20	36	45	
QJ3—Ⅱ	14	51	63		22	48	63		22	42	63	
	15	54	63		28	59	63		28	51	63	
					30	62	63		30	56	63	
	20	72	85	60	40	85	85	60	40	74	85	60
QJ3—Ⅲ	25	91	120		45	100	120		45	86	120	
	30	108	160		55	120	160		55	104	160	
	40	145	160		75	145	160		75	125	160	

（9）SM1 系列软起动器　用于三相交流笼型异步电动机拖动设备，型号数据见表 1-201。

表 1-201　SM1 系列软起动器型号数据

型号	额定电流/A	配置电动机/kW	长×宽×厚/mm	备注	型号	额定电流/A	配置电动机/kW	长×宽×厚/mm	备注
SM1—45	45	22	253×350×157	晶闸管模块结构	SM1—320	320	160	490×430×292	平板型晶闸管结构
SM1—60	60	30			SM1—370	370	185		
SM1—75	75	37			SM1—400	400	200		
SM1—90	90	45			SM1—450	450	220		
SM1—110	110	55			SM1—500	500	250	590×505×332	
SM1—150	150	75			SM1—560	560	280		
SM1—180	180	90	262×440×182		SM1—630	630	315		
SM1—220	220	110							
SM1—260	260	132							

（10）JJR 系列软起动器　用于 50Hz、380V、5.5～500kW 笼型电动机，单片机控制、晶闸管输出，平滑起动、保护拖动系统，起动电流冲击小，起动方式见表 1-202。控制功能齐全，内置各种负载程序；微机控制或遥控；人机对话设置参数和编程等；具备解除远方操作功能；键盘控制和远方控制切换；延时继电器输出 1 合 1 开；故障输出，故障停机自复位可编程；延时起动设定时间 0～999s；1 台软起动器拖动多台电动机，保护功能完善。

表 1-202　JJR 系列软起动器起动方式

限流型	电压控制型	转矩控制型	转矩控制加突跳型
限制起动电流、降低起动压降，起动电流设为(1～4)I_e	设定允许压降百分值，自动测量并限制压降。控制压降范围为 1%～30%。根据压降自适应控制起动电流。数据记忆，自动监控运行	对电动机运行特性控制，尤其是起动和停止。起动转矩设为(20%～100%)M_e，起动时间设为 0～100s	如转矩控制起动时间长，通过转矩突跳，加快起动周期。起动转矩设定范围为(20%～100%)M_q，突跳时间为 100ms

（11）起动器选用与维护

1）起动方式见表 1-203，常用减压起动器性能比较见表 1-204。

表 1-203　根据负载性质选择起动方式

负载性质	对起动的要求	
	限制起动电流	减小起动时对机械的冲击
无载或轻载起动	Y-△减压起动 电阻或电抗压减压起动	

（续）

负载性质	对起动的要求	
	限制起动电流	减小起动时对机械的冲击
风机特性负载	延边△减压起动 自耦减压起动 电抗或阻抗减压起动	
重力负载		电阻、电抗或阻抗减压起动
摩擦负载	延边△减压起动 电阻或电抗减压起动	
阻力矩小的惯性负载	△减压起动 延边△减压起动 自耦减压起动 电抗减压起动	
恒转矩负载	延边△减压起动 电阻或电抗减压起动	电阻或电抗减压起动
恒重负载		电阻、电抗或阻抗减压起动

表 1-204　常用减压起动器主要性能

起动器名称	型号	控制电动机功率/kW	起动时间	备注
Y-△起动器	QX1	13、30	13kW，<15s； 30kW，<25s	手操，无保护
	QX3	13、30	操作频率<30 次/h，且两次操作间隔>90s	自动操作，有过载和失电压保护
自耦减压起动器	QJ10	10～75	30～60s	手操，有过载断相及失电压保护
	XJ01	14～300	<120s	自动操作，有过载及失电压保护
延边△起动器	XJ1	11～190	最高操作频率 30 次/h	自动操作，有过载及失电压保护，可作Y-△减压起动器
电阻减压起动器	QJ7	20		自动操作，有过载及失电压保护
频敏变阻器	BP1、BP2、BP4	2.2～2 240	允许连续起动 2～3 次，总起动时间<120s	自动操作，无保护，可作转差率调整器

2）选用与维护：不要求限制起动电流和起动时机械冲击场合，75kW以下选择全压直接起动器。其他要求，见表1-203。起动器维护及故障处理见表1-205。

表1-205　起动器的维护及故障处理

故障现象	可能的原因	基本处理方法
起动器能合但不能起动	①起动电压低，转矩不够或堵转 ②熔丝熔断 ③起动器与电动机功率不匹配	①测电路电压，将起动器抽头提高一级。查负载 ②查熔丝，规格匹配 ③重选
电动机起动太快	①电动机转矩太大。可能自耦变压器抽头电压太高，或自耦变压器有线圈短路 ②接线错误	①调整抽头，查短路线圈，更换 ②查起动器与电动机间接线
自耦变压器有嗡嗡声	①变压器铁片松动 ②变压器有线圈接地	①查并更换变压器 ②拆开重绕或在破损处加补绝缘
起动器里有爆炸声，电箱里冒烟	①触头有火花 ②开关的机械部分与导体间的绝缘损坏或接触器接地	①整修或更换触头 ②查出接地点予以消除
欠电压脱扣机构停止工作	欠电压线圈烧毁或未接牢	查接线，继电器触头是否熔焊，线圈如烧毁应更换
电动机没有过载，但起动器的握柄不能在运行位置上停留	①欠电压继电器吸不上或过载继电器间的触头接触不良 ②过载继电器整定值低，或机械卡住	①查欠电压继电器电源和接线；查过载继电器触头 ②调整继电器，检查撞针，要求灵活
联锁机构失灵	锁片锈牢或磨损	用锉刀整修或局部更换
线圈过热或烧毁	①弹簧的反作用力太大 ②线圈额定电压与电路电压不符 ③线圈的通电持续率与实际不符 ④线圈部分短路	①调整弹簧压力 ②更换线圈 ③更换线圈 ④更换线圈

（续）

故障现象	可能的原因	基本处理方法
电器有噪声	①弹簧的反作用力太大 ②极面有污垢 ③极面磨损过度而不平 ④磁系统歪斜 ⑤短路环断裂 ⑥衔铁与机械部分间连接销松脱	①调整弹簧压力 ②清除污垢 ③修正极面 ④调整机械部分 ⑤重焊或换短路环 ⑥装好连接销
衔铁吸不上	①线圈断线或烧毁 ②衔铁或机械可动部分被卡住 ③机械部分转轴生锈或歪斜	①轻微的可修理，无法修理的应更换线圈 ②消除障碍物 ③去锈，上润滑油或调换配件
接触的动作缓慢	①极面间间隙过大 ②电器的低板上部较下部凸出	①调整机械部分，减小间隙 ②把电器装直
断电时衔铁不落下	①触头间弹簧压力过小 ②电器的低板下部较上部凸出 ③衔铁或机械部分被卡住 ④触头熔焊在一起 ⑤剩磁	①调整触头压力 ②装直电器 ③清除障碍物 ④更换或加厚垫片，或更换触头 ⑤更换铁心并退磁

十、主令电器

1. 基本结构与应用

用作闭合或断开控制电路、发出指令或作程序控制的开关电器，包括按钮、凸轮开关、行程开关、踏脚开关、接近开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等。

（1）按钮　结构简单，在电气控制电路中用于手动发出信号。分为普通揿钮式、蘑菇头式、自锁式、自复位式、旋柄式、带指示灯式、带灯符号式及钥匙式等，有单钮、双钮、三钮及不同组合形式，由按钮帽、复位弹簧、桥式触头和外壳等组成，通常做成复合式，有一对常闭触头和常开

触头。还有自持式按钮，按下后即可自动保持闭合位置，断电后才能打开。

（2）限位开关　又称为位置开关，将位置信号转为电信号，控制运动部件位置或行程。一类以机械行程直接接触，作为输入信号的行程开关；另一类以电磁信号作输入动作信号的接近开关。

（3）万能转换开关　多档位、多段式、控制多电路，操作手柄转动时，带动开关内部的凸轮转动，使触头按规定顺序闭合或断开。由多组相同结构的触头组件叠装而成的多电路控制电器，由操作机构、定位装置和触头等三部分组成。主要用于各种控制电路的转换、电压表、电流表的换相测量控制、配电装置线路的转换和遥控等，还可用于直接控制小功率电动机的起动、调速和换向。

（4）接近开关　在控制电路中可供位置检测、行程控制、计数控制及检测金属物体是否存在的作用。有高频振荡式、电容式、感应电桥式、永久磁铁式和霍尔效应式等。工作可靠、灵敏度高、寿命长、功率损耗小、操作频率高。

2. 主要类型

（1）LA 系列按钮　有 LA18、LA19、LA2 系列，50Hz、AC380V 或 DC220V 线路中作遥控；LAY3、LAY5 系列适用 50/60Hz，电压至 AC660V 或 DC440V 电磁起动器、接触器、继电器及其他电路，作遥远控制。型号见图 1-19。LA18 系列技术数据见表 1-206，LA19 系列见表 1-207，LA2 系列见表 1-208，LAY3 系列见表 1-209，LAY5 系列见表 1-210。

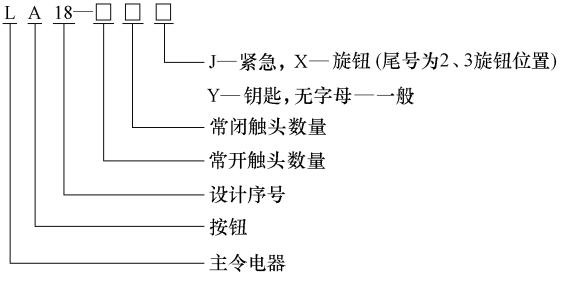


图 1-19　LA 系列按钮型号

（2）LS2 系列主令开关　50Hz、380V、额定工作电流 10A 电路中，通断接触器、继电器线圈等。其技术数据见表 1-211。

表 1-206　LA18 系列按钮技术数据

型号	额定电压/V		约定发热电流/A	触头对数/对		颜色	结构形式
	交流	直流		常开	常闭		
LA18—22	380	220	5	2		红、绿、黄、黑	一般钮
LA18—44				4			
LA18—66				6			
LA18—22J				2		红	紧急钮
LA18—44J				4			
LA18—66J				6			
LA18—22X2				2		黑	二位置旋钮
LA18—22X3				2			三位置旋钮
LA18—44X				4			旋钮
LA18—66X				6			旋钮
LA18—22Y				2		锁芯本色	钥匙钮
LA18—44Y				4			
LA18—66Y				6			

注：安装尺寸均为 M24mm×1.25mm。

表 1-207　LA19 系列按钮技术数据

型号	额定电压/V		约定发热电流/A	信号灯		触头对数		颜色	结构
	交流	直流		电压/V	功率/W	常开	常闭		
LA19—11	380	220	5			1		红、绿、黄、蓝、白、黑	—
LA19—11D				6.3	1	1			带指示灯
LA19—11J						1		红	紧急
LA19—11DJ				6.3	1	1		红	带指示灯紧急

注：安装尺寸均为 M24mm×1.25mm。

表 1-208　LA 系列按钮技术数据

序号	型号	额定电压		额定电流/A	触头对数		外形尺寸/mm			安装尺寸/mm	颜色
		交流	直流		常开	常闭	长	宽	高		
1	LA2	380	220	5	1	1	40	40	55	ϕ30	红、绿、黄、黑
2	LA2—J								80		红

表 1-209　LAY3 系列按钮技术数据

使用类别	额定值					
AC—11	额定工作电压	660	380	220	110	48
	额定工作电流	1.5	2.5	4.5	6	6
DC—11	额定工作电压	440	220	110	48	24
	额定工作电流	0.1	0.3	0.6	1.3	2.5

表 1-210　LAY5 系列按钮技术数据

使用类别	AC—11					DC—11			
额定工作电压 U_e/V	660	220	110	48	440	220	110	48	24
额定工作电流 I_e/A	1.5	4.5	6	6	0.1	0.3	0.6	1.3	2.5

表 1-211　LS2 系列主令开关技术数据

开关型号			LS2—2	LS2—3	
手柄位置数			2		
可转换电路数			2		
额定电压/V			380		
约定发热电流/A			10		
额定主电流/A			380V	220V	127V
			6	8	10
接通分断能力	接通电流/A	$\cos\varphi=0.35$	30	40	50
	分断电流/A		6	8	10
电寿命/万次	接通		2		
	分断		2		
操作频率/(次/h)			150		
机械寿命/万次			10		

（3）LW 系列万能转换开关　同时切换多路电路，操作位置多，作低压配电远距离控制、仪表切换、正反转开关及双连电动机的变速开关等。按接触系统档数，LW5 系列分为 1～16 等单列转换开关；按手柄形式分为旋钮、普通手柄、带定位钥匙和带信号灯等；按定位形式分为自复式和定位式；按定位角分为 30°、45°、60°、90°等数种，见表 1-212。其型号见图 1-20。直接控制电动机时的型号见图 1-21。由接触系统、操作机构、转轴、手柄、定位机构组成。每一端电设隔弧罩。滚轮卡棘轮辐射性结构定位机构，定位可靠，分断能力高，保证触头同步。触头开闭由凸轮和触头弹簧配合完成。定位位置二～六位。安装操作系统由面板和手柄组成，面板有方形和圆形。常用有 LW5、LW6 等系列。其技术数据见表 1-213。

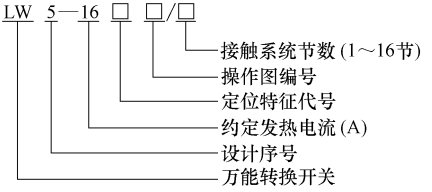


图 1-20　LW 系列万能转换开关型号

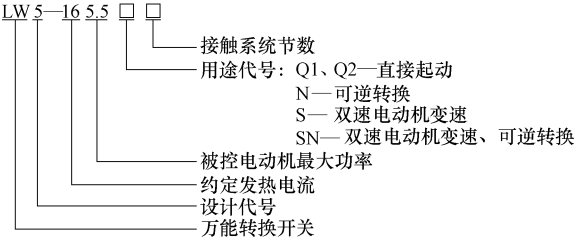


图 1-21　直接控制电动机时的型号

表 1-212　LW 系列万能开关定位角与定位特征代号

操作方式	特征代号	操作手柄位置											
自复型	A						0°	45°					
定位型	B					45°	0°	45°					
	C						0°	45°					
	D					45°	0°	45°					
	E					45°	0°	45°	90°				
	F				90°	45°	0°	45°	90°				
	G				90°	45°	0°	45°	90°	135°			
	H			135°	60°	45°	0°	45°	90°	135°			
	I			135°	60°	45°	0°	45°	90°	135°	180°		
	J		120°	90°	60°	30°	0°	45°	60°	90°	120°		
	K		120°	90°	60°	30°	0°	45°	60°	90°	120°	150°	
	L	150°	120°	90°	60°	30°	0°	45°	60°	90°	120°	150°	
	M	150°	120°	90°	60°	30°	0°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
	N					45°	0°	45°					
	P						0°						

表 1-213 LW5 系列万能转换开关技术数据

项目	AC-15			DC-13						AC-3		AC-4	
				双断点			四断点						
额定工作电压/V	500	380	220	400	220	110	440	220	110	380	12	380	12
额定工作电流/A	20	2.6	4.6	0.14	0.27	0.55	0.2	0.41	0.82				
电寿命/次	20×10^4			20×10^4						19.5×10^4		0.5×10^4	
操作频率/(次/h)	300											120	
额定绝缘电压/V	500V												
约定发热电流/A	16A												

50Hz、电压至 AC660V 或 DC220V 电路中，LW15 系列作控制线圈、电测仪表和伺服电动机等转换、电源通断和小功率交流电动机直接控制。按结构型式划分，约定发热电流 10A 的有定位型、自复型；约定发热电流 16A 的有定位型、自复型、锁扣型。按接触系统节数分，定位型开关按 1～12 节分 12 种；自复型开关按 1～6 节分 6 种。按操作角度分 30°、45°、60°、90°。其技术数据见表 1-214。

表 1-214 LW15 系列万能转换开关技术数据

产品型号			使用类别	LW□—10	LW□—16
电流种类	U_e/V			I_e/A	I_e/A
AC	单相	220	AC—1、AC—21	10	16
			AC—11	4 6	
		380	AC—1、AC—21	10	16
			AC—11	(4)	(6)
	三相		AC—1、AC—21	10	16
			AC—3、AC—23	6	12
			AC—4	4	10
DC	220		AC—11	0.12	0.27

注：开关约定发热电流 I_{th} 为 10～16A。开关额定绝缘电压 U_i 为 380V。使用类别 AC—11、DC—11 的操作频率 300 次/h，其余类别操作频率 120 次/h。

50Hz、电压至 AC500V 或 DC440V 电路中，LW12 系列可直接控制至 5.5kW 三相交流笼型异步电动机，技术数据见表 1-215。LW6 系列适用于

50Hz、AC 380V 或 DC 220V，电流至 5A 机床线路中，技术数据见表 1-216，触头对数见表 1-217。

表 1-215　LW12 系列万能转换开关技术数据

项目	AC—15		DC—13	AC—3	AC—4
额定工作电压/V	380	220	220	380	380
额定工作电流/A	2.6	4.6	0.27	12	12
额定绝缘电压/V	500				
约定发热电流/A	16				
电寿命/次($\times 10^4$)	20		20	19.5	0.5
操作频率/(次/h)	300 次/h(当 AC-4 时为 120 次/min)				

表 1-216　LW6 系列万能转换开关技术数据

项　　目	AC—15		DC—13
额定工作电压 U_e/V	380	220	220
额定工作电流 I_e/A	0.79	1.36	0.14
额定绝缘电压 U_j/V	380		
约定发热电流 I_{th}/A	10		
电寿命/次	20×10^4		10×10^4
操作频率/(次/h)	120		

表 1-217　LW6 系列万能转换开关触头对数

型　　号	触头座数	触头对数
LW6—1	1	3
LW6—2	2	6
LW6—3	3	9
LW6—4	4	12
LW6—5	5	15
LW6—6	6	18
LW6—7	7	21
LW6—8	8	24
LW6—9	9	27
LW6—10	10	30

50Hz、AC 380V 或 DC 220V 电路中，LW8 系列作电气控制电路转换、远距离控制、电测仪表转换及 10A 2.2kW、20A 5.5kW 笼型异步电动机的直接起动、转向和变速。每节绝缘基座两对双断点触头，接触系统绝缘基座节数 1～10 节。其技术数据见表 1-218。

表 1-218 LW8 系列万能转换开关技术数据

使用类型	用 途	依据标准	控制容量	电寿命/万次
AC-11	控制交流电磁铁	IEC337	360V · A	20
DC-11	控制直流电磁铁		28W	10
AC-3	笼型电动机直接起动	IEC408	22kW	5

使用类型	电压/V		电流/A		cosφ		T/mm		试验次数	
	接通	分析	接通	分断	接通	分断	接通	分断	接通	分断
AC-11	418		10.5		0.7				50	
DC-11	242		0.14				168		20	
AC-3	418		50	40	0.65				25	20

注：额定绝缘电压 $U_i = 440V$；约定发电电流 $I_{th} = 10A$、20A；额定操作频率 120 次/h；机械寿命 30 万次。

50Hz、AC 380V 或 DC 220V 电路中，LWX1B 系列作控制电路转换、伺服电动机及微电动机转换开关。有普通型、钥匙型、自复型、定位自复型等。其技术数据见表 1-219、开关型号及特征见表 1-220。

表 1-219 LWX1B 万能转换开关技术数据

电源类别	额定发热电流/A	线圈额定功率/W	额定电压/V	接通		分断		电寿命/万次
				电压/V	电流/A	电压/V	电流/A	
直流	5	30	220	220	0.14	220	0.14	10
			110	110	0.3	110	0.3	
交流	5	300	380	380	8	380	0.8	20
			220	220	14	220	1.4	

表 1-220 开关型号及特征

型 号	结构特征	面板外形
LWX1B—Y	有带指示灯的手柄定位及限位的开关	圆形 Y
LWX1B—YZ	45°自复 90°定位	
LWX1B	带定位及限位的开关(手柄不能取出)	方形 F
LWX1B—W	带自复机构的开关	
LWX1B—H	手柄可取出带定位及限位的开关	
LWX1B—Z	带自复机构及定位的开关	

(4) LX 系列行程开关 50Hz、380V、电流至 3A 电路中，用于限位、程序控制。型号见图 1-22。LX5 系列、LX4 系列技术数据见表 1-221 和表 1-222。LX5 系列传动型式，高钮式 D；防护式 Q；带缓冲弹簧式 H；短杠杆

传动式 G1；长杠杆传动式 G2；短杠杆传动式 N1；长杠杆传动式 N2；无字母表示基型。LX44 系列技术数据见表 1-223，LX3 系列见表 1-224，LX19 系列见表 1-225。LX12-2 系列技术数据见表 1-226，LX10 系列见表 1-227，LX028、LX029 系列见表 1-228，LX7 系列见表 1-229，LX8 系列见表 1-230。

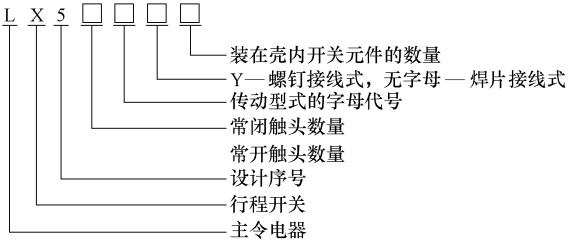


图 1-22　LX 系列行程开关型号

表 1-221　LX5 系列行程开关技术数据

约定发热电流	3A	
额定控制容量	100V · A,30W	
额定电压	AC 380V,DC 220V	
机械寿命	100×10^4次	
电寿命	30×10^4次	
环境温度	25 ~ +40℃	
海拔	<2 500m	
耐压	带点零件对地	2 000V
	异极带点零件间	1 140V
应用范围	控制行程	
符合标准	GB 14048.5—2008	

表 1-222　LX4 系列行程开关技术数据

型号	额定电压/V		约定发热电流/A	额定控制容量		最大操作次数/(次/h)
	交流	直流		交流/V · A	直流/W	
LX4—11/12	380	220	10	1 000	180	150
LX4—21/22						
LX4—31/32						
LX4—41/42						
LX4—62						
LX4—12s						

表 1-223　LX44 系列行程开关技术数据

型号	额定工作电压/V	额定工作电流/A	可控电动机最大功率/kW	动作行程/mm	允许动作超程/mm
LX44—10	380	10	4.5	6～8	≤3
LX44—20		20	7.54	8～10	
LX44—40		40	13	12～14	

表 1-224　LX3 系列行程开关技术数据

型号	额定电压/V		额定控制容量		约定发热电流/A	触头对数		额定操作频率/(次/h)
	交流	直流	交流/V·A	直流/W		常开	常闭	
LX3—11K	380	220	300	60	5	1	1	300
LX3—11H						1	1	

表 1-225　LX19 系列行程开关技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	结构形式	触头		工作行程	超行程
				常开	常闭		
LX19K	AC380 DC220	5	元件	1	1	1.5～3.5mm	≥0.5mm
LX19—001			无滚轮,传动杆复位	1	1	1.5～4mm	
LX19—111			单轮滚动,传动杆内侧,自复位	1	1	≤30°	-20°
LX19—121			单轮滚动,传动杆内侧,不能自复位	1	1		
LX19—131			单轮滚动,传动杆凹槽内,不能自复位	1	1		
LX19—212			双轮滚动,U 形传动杆外侧,不能自复位	1	1	≤60°	-15°
LX19—222			双轮滚动,U 形传动杆内侧,不能自复位	1	1		
LX19—232			双轮滚动,U 形传动杆内侧,不能自复位	1	1		

表 1-226　LX12-2 系列行程开关技术数据

交流额定电压	500～220V
交流额定电流	2～4A
推杆行程	4mm

表 1-227　LX10 系列行程开关技术数据

电压/V		额定电流/A	关合电流/A	分断电流/A	
				电感负载	电阻负载
交流	380	10	100	10	10
直流	220		8	1	2

表 1-228　LX028、LX029 系列行程开关技术数据

型号	额定电压/V	约定发热电流/A	额定控制容量		操作频率/(次/h)	触头数	
			交流/V·A	直流/W		常开	常闭
LX—028	380	3	380	100	1 200	1	1
LX—028A						1	1
LX—029						1	1
LX—029A						1	1

表 1-229　LX7 系列行程开关技术数据

额定电流/A	闭合电流/A	感应负载下断开电流/A		
		直流	交流	
		220V	220V	380V
20	100	20	20	20

表 1-230　LX8 系列行程开关技术数据

型号	额定电压/V		约定发热电流/A	额定操作频率/(次/h)	附注
	交流	直流			
LX8—1	380	400	20	300	有线圈装置
LX8—2					
LX8—3					
LX8—4					
LX8—5					无线圈装置

（5）LXP1 系列行程开关　40～60Hz、AC 500V 或 DC 600V、电流至 10A 电路中，额定工作电流见表 1-231。

表 1-231　LXP1 系列行程开关额定工作电流

交流电压/V	交流电流 I_e(AC-15)/A	直流电压/V	直流电流 I_e(DC-13)/A
220	1.7	110	1
380	1	220	0.5

（6）LXK3 系列行程开关 50Hz、380V，电流至 400A 线路中，0.5～100t 钢丝绳式电葫芦的上下限位保护。其技术数据见表 1-232。

表 1-232　LXK3 系列行程技术数据

型号	动作行程	差程	全行程
LXK3—20S. H/Z	1.75～2mm	≤1.2mm	≥6mm
LXK3—20S. H/L			
LXK3—20S. H/B	18°～22°	≤15°	≥60°
LXK3—20S. H/T			
LXK3—20S. H/J			
LXK3—20S. H/D			
LXK3—20S. H/H1	70°～80°	40°～60°	90°±5°
LXK3—20S. H/H2			
LXK3—20S. H/H3			
LXK3—20S. H/W	12°～20°	8°±2°	

3. 选用

选用时应考虑额定工作电压、电流、通断能力、限制短路电流等，触头有常开、常闭、延时、触头数目及组合形式等。特殊要求符合动作原理、防护等级等。按钮、转换开关、脚踏开关和主令控制器等，须满足控制、安全、防护等级、绝缘和接地性能。颜色要符合标准规范，如停止、起动和运行等。

第三节　低压成套开关设备

一、概述

1. 分类

（1）按供电系统要求和使用场所划分

① 一级配电设备。动力配电中心 PC（俗称低压开关柜或配电屏）是将电能分配给下级配电设备。紧靠降压变压器，电气参数要求高，输出电容量大。

② 二级配电设备。动力配电柜和电动机控制中心 MCC 的统称，安装在用电集中、负荷大的场所，统一配电，将上一级配电设备某电路电能分配给就近负荷；使用在负荷分散、电路少的场合；MCC 用于负荷集中、电路多的场合；该级设备应对负荷提供控制、测量和保护。

③ 末级配电设备。照明配电箱和动力配电箱的统称，远离供电中心，分散的小容量配电设备，对小容量用电设备控制、保护和监测。

（2）按标准 GB 7251划分

① 结构。屏类，开启式、固定面板式；柜类，固定安装式、抽出式、箱组式；箱类，动力箱、照明箱、补偿箱。

② 功能。配电用包括进线、联络、出线；电动机控制用；无功功率补偿用、照明用、计量用。

③ 标准。符合 GB 7251. 1—2013的开关柜；符合 GB 7251. 2—2006的母线槽、照明箱、插座箱；符合 GB 7251. 3—2006的计量箱、照明箱、插座箱；符合 GB 7251. 4—2006的户外建筑工地用成套设备；总则要求符合 GB 251. 1—2013。

（3）按结构特征和用途划分

① 固定面板式开关柜。常称开关板或配电屏，开启式，正面防护、背面和侧面开放，防护等级低。

② 封闭式开关柜。所有面封闭，开关、保护和监测控制等电器元件，安装在钢板或绝缘材料制成的封闭体内；柜内电路之间可不隔离，也可用接地金属板或绝缘板隔离。

③ 抽出式开关柜。俗称抽屉柜，进出线电路电器元件都安装在可抽出的抽屉中，构成供电功能单元。单元与母线或电缆之间，用接地的金属板或塑料制成的隔板隔开，形成母线、功能单元和电缆三区域。单元之间有隔离措施。安全性和互换性好，在低压供配电系统中用作集中控制配电中心，可靠性高。

④ 动力、照明配电箱。多为封闭式垂直安装，主要作用电现场的配电装置。

2. 型号

（1）开关柜型号　由 6 位拼音字母或数字组成，即□　□　□　□—□—□。

其中，第 1□，分类代号，P—开启式，G—封闭式；第 2□，型式特征，G—固定式，C—抽出式，H—固定与抽出式混合安装；第 3□，用途代号，L（或 D）—动力，K—控制；也可作统一设计标志，如 S 表示森源电气系统；第 4□，设计序号；第 5□，主电路方案编号；第 6□，辅助电路方案编号。

（2）配电箱型号　见图 1-23。

3. 主要参数

1）额定电压包括主电路和辅助电路额定电压，前者分额定工作电压和额定绝缘电压，规定条件下度量电器及部件不同电位部分的绝缘强度、电气间隙和爬电距离的标准电压值。主电路额定工作电压有 220V、380V 和 660V 等。

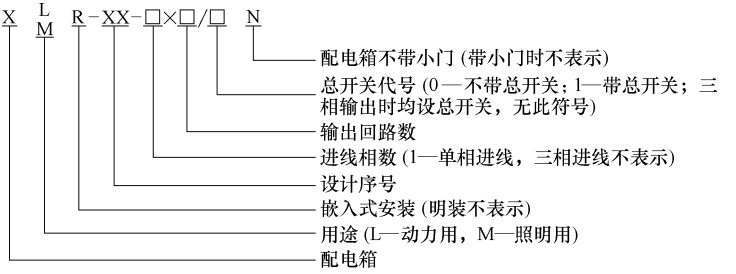


图 1-23　配电箱型号

2）额定频率为 50Hz。

3）额定电流可分为水平母线额定电流和垂直母线额定电流，前者指开关柜受电母线工作电流即本柜总工作电流；后者指低压开关柜中作为分支母线也称为馈电母线的工作电流，柜内馈电母线工作电流之和等于水平母线电流。水平母线额定电流等级为 630A、800A、1 000 A、1 250 A、1 600 A、2 000A、2 500 A、3 150 A、4 000 A 和5 000 A；垂直母线额定电流等级为 400A、630A、800A、1 000A、1 600A 和2 000A。

4）额定短路开断电流。低压开关柜中开关电器的分断短路电流的能力。

5）母线额定峰值耐受电流和额定短时耐受电流。母线的动、热稳定性能，母线额定短时耐受电流（1s）：15kA、30kA、50kA、80kA 和 100kA；母线额定峰值耐受电流：30kA、63kA、105kA、176kA 和 220kA。GCS 型低压开关柜技术数据见表 1-233。

表 1-233　GCS 型低压开关柜技术数据

项　　目		数　　据
额定电压/V	主电路	380(660)
	辅助电路	AC 220,AC 380,DC 110,DC 220
额定绝缘电压/V		690(1 000)
额定频率/Hz		50
额定电流/A	水平母线	≤4 000
	垂直母线	1 000
母线额定短时耐受电流(1s)/kA		50,80
母线额定峰值耐受电流(0.1s)/kA		105,176
防护等级		IP30,IP40

6）防护等级 IP□□。

① 防尘等级：0—无防护；1—防大于 50mm 物体侵入；2—防大于 12mm 物体侵入；3—防大于 2.5mm 物体侵入；4—防大于 1.0mm 物体侵入；5—不完全防尘。无法完全防灰尘侵入，但侵入灰尘量不影响灯具正常运作；6—防尘。完全防止灰尘侵入。

注意：50mm 约为拳头大小；12mm 约为手掌厚度；2.5mm 约为螺钉旋具厚度；1.0mm 约为大头针直径。

② 防水等级：0—无防护；1—防止滴水侵入；2—倾斜 15°时防止滴水侵入；3—防止喷射的水侵入；4—防止飞溅的水侵入；5—防止任何方向的喷水有害影响；6—防止大浪的水侵入；7—防止有压力的浸水侵入；8— 防止沉没的影响。

二、主电路

主电路即一次电路，传输和分配电能；控制电路对一次设备控制、保护、测量和显示。低压成套开关设备种类多、主电路类型多，由受电柜、计量柜、联络柜、双电源互投柜、馈电柜和电动机控制中心和无功补偿柜等组成。同型号主回路方案几十种到百种，如 GCK 型柜主回路方案 40 种。以 GCS 抽出式为例进行说明。

（1）受电柜主电路　图 1-24 是柜顶架空进线；图 1-25 是柜顶下侧进线，可左进线或右进线；图 1-26 是电缆进线，电缆终端接零序电流互感器作电缆线路的单相接地保护。

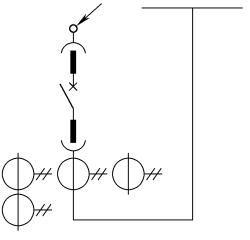


图 1-24　柜顶架空进线

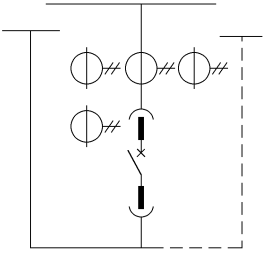


图 1-25　柜顶下侧进线

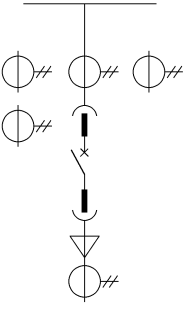
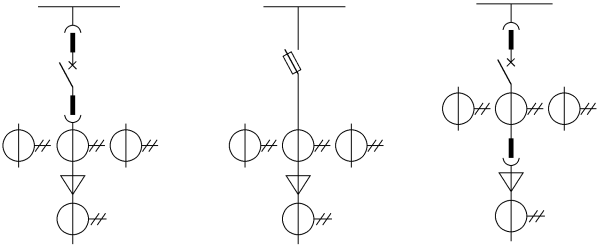


图 1-26　电缆进线

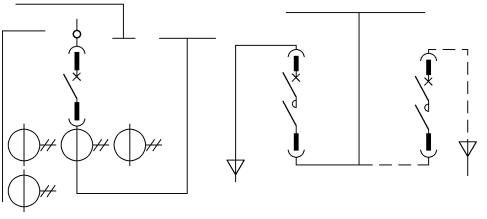
（2）馈电柜主电路　主开关可用断路器，抽屉式结构；也可用熔断器式隔离开关，固定安装式；均为电缆出线，电缆终端接零序电流互感器，作电缆线路单相接地保护，见图 1-27。



a) 采用断路器　　b) 采用熔断器式刀开关　　c) 采用断路器

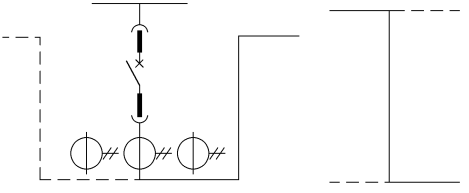
图 1-27　馈电柜主电路

（3）双电源切换柜主电路　工作与备用电源互为备用。备用电源可手动或自动投入。两个电源均电缆引入到母线排，接触器切换，工作电源出现故障时，断路器跳闸，自动合上另一电源，见图 1-28、图 1-29。



a) 手动切换　　b) 自动切换

图 1-28　双电源切换柜主电路



a) 母联柜　　b) 母线转接柜

图 1-29　母联柜和母线转接柜

（4）母联柜主电路　即母线联络开关柜，当变电所低压母线采用单母线分段制时，用开关连接两段母线，母线可分段或可两段母线连接成单母线运行。

要求不高时用刀开关；如要求设母线保护和备用电源自投，用低压断路器，见图 1-29。

（5）电动机不可逆控制柜主电路　专门作电动机集中控制的电动机控制中心。两种方案的电动机不可逆控制柜主电路见图 1-30，包括熔断器式隔离开关或断路器、接触器、热继电器装在抽屉中。

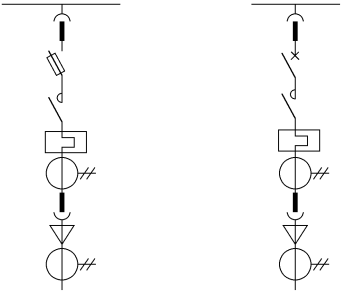


图 1-30　电动机不可逆控制柜主电路

（6）电动机可逆控制柜主电路　见图 1-31。

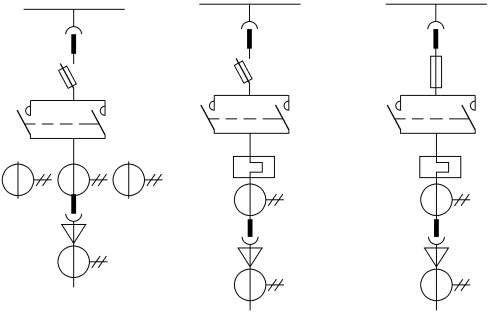


图 1-31　电动机可逆控制柜的主电路

三、典型低压开关柜

1. GGD 型固定式

适用发电厂、变电所、企业等，50Hz、380 V、额定电流至3 150A、主变压器容量至2 000kV·A 配电系统中，作动力、照明及配电设备电能转换、分配与控制。分断能力高，动热稳定性好，电气方案灵活、组合方便。

（1）结构特点　通用柜体，零部件模数化设计，以 20mm 为模数的安装孔。防护等级为 IP20 ~ IP40。

（2）电气性能　其技术数据见表 1-234。

① 主电路方案。有 129 个方案共 298 个规格。主电路额定电流至3 150 A，适合至2 000kVA 配电变压器；有 GGJ1 型、GCTJ2 型补偿柜，主电路方案有 4 个，共 12 个规格。

表 1-234 GGD 型开关柜技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A		额定短路开断电流/kA	额定短时耐受电流(1s)/kA	额定峰值耐受电流/kA
GGD1	380	A	1 000	15	15	30
		B	600(630)			
		C	400			
GGD2	380	A	1 500(1 600)	30	30	63
		B	600(630)			
		C	400			
GGD3	380	A	3 150	50	50	105
		B	2 500			
		C	2 000			

② 辅助电路方案。分供用电和发电厂方案，柜内有足够空间安装二次元件，专用的 LMZ3D 互感器，满足特殊用户继电保护需要。

③ 主母线。额定电流不大于1 500A 时用铝母线，额定电流大于1 500A 时用铜母线，母线搭接面搪锡处理。

④ 一次电器元件。主开关选 ME、DZ20、DW15 等；专门 HD13BX 型和 HS13BX 型旋转操作式刀开关，满足 GGD 型独特结构需要；安装灵活。

2. GCK 型抽屉式

电动机控制中心用抽出式封闭开关柜，有 GCK、GCK1、GCK1（1A）等型号，包括动力配电中心 PC 柜、电动机控制中心 MCC 柜和电容器补偿柜。PC 柜含进线柜、母联柜、馈电柜等。它适合 50/60Hz、额定工作电压 380V、额定绝缘电压 660V、额定工作电流至4 000A 电力系统中，作配电、动力、照明、无功功率补偿、电动机控制。

（1）结构

① 柜体。功能抽屉间隔以 20mm 为模数，柜体分水平母线区、垂直母线区、电缆区和功能单元区等相互隔离，设备区内分别安装在各自元件；上部设置水平母线，同一柜体单元连在垂直母线。

② 功能单元。PC 柜组件室高度1 800mm，每柜可安装 1 或 2 台 ME 型抽出式断路器；MCC 柜功能单元区总高度1 800 mm，抽屉高度 300mm、450mm 和 600mm；相同抽屉单元可互换；功能单元用金属隔板隔开；隔室活门随抽屉推进和拉出自动打开和封闭，隔室中不会触及柜子后部（母线

区）的垂直母线；功能单元隔室门由主开操作机构对抽屉机械联锁，当主开关在合闸位置时，门打不开。

（2）技术参数

1）基本参数：

① 额定绝缘电压660V、750V；额定工作电压380V、660V；频率50Hz、60Hz。

② 额定电流：水平母线1 600～3 150A，垂直母线400～800A。

③ 额定短时耐受电流：水平母线80kA（有效值，1s），垂直母线50kA（有效值，1s）。

④ 额定峰值耐受电流：水平母线175kA，垂直母线110kA。

⑤ 功能单元（抽屉）分断能力：50kA（有效值）。

⑥ 外壳防护等级：IP30或IP40。

⑦ 控制电动机功率：0.4～155kW。

⑧ 馈电容量：16～630A。

⑨ 操作方式：就地、远方、自动。

2）主电路方案：共40种，电源进线方案2种，母联方式1种，电动机可逆控制方案4种，电动机不可逆控制方案13种，电动机Y-△变换5种，电动机变速控制3种，照明电路3种，馈电方案8种，无功功率补偿1种。

3. GCS型抽屉式

国产化抽屉柜。可与计算机连接，作380V或660V、额定电流至4 000A发供电系统中的配电、电动机集中控制、无功功率补偿。

（1）结构特点

1）柜体：主构架用8MF型钢，侧面有模数20mm和100mm的ϕ9.2mm安装孔；分功能单元室、母线室和电缆，隔室相互隔离；水平母线为柜后平置式排列，增强母线抗电动力能力，主回路具备高短路强度能力；电缆隔室的电缆上下进出。通用柜尺寸系列见表1-235。

表1-235　GCS型开关柜通用柜体尺寸　（单位：mm）

高(H)	2 200									
宽(W)	400		600		800			1 000		
深(D)	800	1 000	800	1 000	600	800	1 000	600	800	1 000

2）功能单元：抽屉层高模数 160mm，分 1/2 单元、1 单元、1 $\frac{1}{2}$单元、2 单元和 3 单元，单元电路额定电流至 400A；抽屉高度尺寸可变，宽、深不变，相同功能抽屉可互换；每台 MCC 柜最多安装 11 个 1 单元或 22 个 1/2 单元抽屉。抽屉面板分、合、试验、抽出等位置标志明显；抽屉单元机械联锁装置。

（2）电气部分

1）主电器元件。电源进线及馈线单元断路器为 AH、DW45、M、F 系列等；抽屉单元如电动机控制中心、部分馈电单元断路器，主选 CM1、FM1、TG、TM30 系列塑壳断路器，部分选 NZM—100A 系列；刀开关或熔断器式刀开关选 Q 系列。熔断器主选 NT 系列。

2）电气性能见表 1-236。功能单元间、隔室间分隔清晰、可靠；母线平置式排列，开关柜动、热稳定性好，能承受 80/176kA 短路电流冲击；MCC 柜单柜电路达 22 个；开关柜与外部电缆可上下进出。零序电流互感器安装在电缆室内；同一电源配电系统可通过限流电抗器匹配限制短路电流，稳定母线电压在一定的数值，可降低对电器元件短路强度的要求；抽屉单元有二次接插件（1 单元以上为 32 对，1/2 单元为 20 对），满足计算机接口和自控电路对接。

表 1-236　GCS 型开关柜电气性能

项　　目		技术参数
额定电压	主电路	AC 380 或 AC 660
	辅助电路	AC 220、AC 380，DC 110、DC 220
额定绝缘电压		690 或1 000
额定频率		50
额定电流	水平母线	≤4 000
	垂直母线	1 000
防护等级		IP30、IP40

4. MNS 型抽屉式

（1）结构　按 ABB 技术制造，50/60Hz、电压至 660V 配电系统中，作电能转换、分配及控制。组装式结构框架，互相连接成基本框架，开关柜内零部件、隔室按 25mm 模数。其外形尺寸见表 1-237。

表 1-237　MNS 型低压开关柜外形尺寸（单位：mm）

<table>
<tr><th>高（H）</th><th>宽（B）</th><th>B_1</th><th>B_2</th><th>深（T）</th><th>T_1</th><th>T_2</th></tr>
<tr><td rowspan="7">2 200</td><td>600</td><td></td><td></td><td rowspan="3">1 000</td><td rowspan="3">750</td><td rowspan="5">250</td></tr>
<tr><td>800</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">1 000</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">600</td><td rowspan="4">400</td><td>600</td><td>400</td></tr>
<tr><td rowspan="3">1 000</td><td>750</td></tr>
<tr><td rowspan="2">400</td><td>600</td></tr>
<tr><td>200</td></tr>
</table>

（2）动力配电中心

① PC 柜内分水平母线、功能单元、电缆、控制电路等隔室。

② 柜内万能式断路器能在关门状态柜外手动操作，能观察断路器分合状态，根据操作机构与门的位置关系，判断断路器在试验或工作位置。

③ 主电路和辅助电路之间分隔，仪表、信号灯和按钮等安装于塑料板，塑料板后用阻燃型罩壳与主电路隔离。

（3）抽出式电动机控制中心

① 抽出式 MCC 柜内分柜后部水平母线隔室、柜前部左边功能单元隔室和柜前部右边电缆隔室；有单面和双面操作两种结构。

② 抽出式 MCC 柜有 8E/4、8E/2、8E、16E 和 24E 标准尺寸的抽屉，一般有 16 个二次隔离触头引出。

③ 有机械联锁装置，当主电路和辅助电路全部断开时才可移动抽屉。机械联锁装置使抽屉有移动、分断和分离位置，操作手柄和主断路器操作手柄能同时被三把锁锁住。

（4）可移式 MCC 柜

① 功能单元设计成可移式结构，功能单元与垂直母线的连接采用一次隔离触头，即使与其连接电路带电，可从设备中完整地取出和放回该功能单元，另一端为固定式结构。

② 可移式 MCC 柜功能单元分 3E、6E、8E、24E、32E 和 40E，总高度是 72E。

（5）抽屉单元　抽屉有 8E/4、8E/2、8E、16E 和 24E，机械联锁，其中 8E/4、8E/2 抽屉有五个位置，见图 1-32。连接位置，主电路和辅助电路都接通；分断位置，主电路和辅助回路断开；试验位置，主回路断开，辅助电路接通；移动位置，主电路和辅助电路都断开，抽屉可推进或拉出。从分

断位置到连接位置的箭头含义：先将操作手柄向里推进，再顺时针从分断位置旋到连接位置。分断时从连接位置转向分断位置，手柄自动弹出。

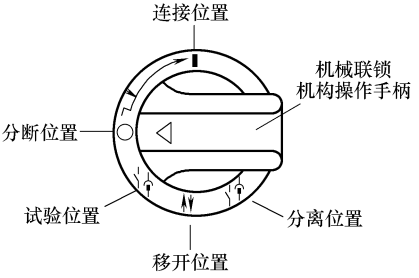


图 1-32　抽屉操作手柄示意图

（6）母线系统

① 水平母线安装于柜后独立母线隔室内，有柜高 1/3 或 2/3 处可选择，两组母线单独或并联使用。每相母线由 2 根、4 根或 8 根并联，有 10mm × 30mm、10mm × 60mm 和 10mm × 80mm 等。

② 垂直母线为 50mm × 30mm × 5mm 的 L 型铜母线，带电部分防护 IP20。

③ 中性线 N 母线和保护接地线 PE 母线平行安装在功能单元隔室下部和垂直安装电缆室中。N 线和 PE 线之间如用绝缘子相隔，则 N 和 PE 分开；两者如短接，即成 PEN 线。

（7）保护接地系统　由单独排列 PE 线（或 PEN）和可导电的金属结构件组成，在结构件连接处可通过一定的短路电流。

（8）主要技术参数　额定绝缘电压 660V；额定工作电压 380V、660V；水平母线额定电流不大于 5 000A，垂直母线不大于 1 000A；额定短时耐受电流（1s，有效值），主母线 30 ~ 100kA，垂直母线 30 ~ 100kA；额定峰值耐受电流，主母线 63 ~ 250kA（最大值）；垂直母线标准型 90kA（最大值）；防护等级 IP30、IP40 和 IP54。

四、低压成套设备的安装、运行与维护

1. 准备

室内土建施工与成套设备安装不能同时或交叉施工；低压成套设备搬运与安装时必须防潮、防振，框架不能变形、损坏，可将重要元器件、易损元器件拆下单独包装运输；设备和元器件符合标准，有铭牌、CCC 标志等；现场开箱检查，元器件不能损坏；技术资料完整，配备电屏一次系统概图、仪

表接线图、控制电路图、端子图；屏内元器件清单。

2. 安装

（1）安装的允许偏差　见表 1-238。

表 1-238　安装的允许偏差

内容		允许偏差/mm
垂直度/(mm/m)		<1.5
水平	相邻柜顶部	<2
	成列柜顶部	<5
柜面偏差	相邻柜边	<1
	成列柜面	<5
柜面接缝		<2

（2）固定柜安装　机械闭锁、电气闭锁动作准确，动静触头接触可靠，二次电路辅助开关触头准确可靠；柜内照明齐全、合理。

（3）抽屉柜安装　抽屉推拉灵活，无卡阻、碰撞，同规格互换方便；抽屉与柜体间的二次回路连接插件抽屉，柜体与框架的接触良好；抽屉机械连锁或电气连锁动作可靠，断路器分闸后，隔离出头才分开。

（4）手车柜安装　防电气误操作“五防”，动作灵活可靠；手车推拉灵活，无卡阻、碰撞，同型号方便互换，手车推入工作位置后，动触头顶部与静触头底部的间隙符合标准，手车与柜体间的二次电路连接插件接触良好；安全隔离板开启灵活，随手车进出而动作，柜内控制电缆位置不能妨碍手车进出；手车与柜体间接地触头接触紧密，当手车推入柜内时，接地触头比主触头先接触，拉出时接地触头比主触头后断开。

3. 安装后检查

安装时，配电柜相互间及与建筑物的距离，符合规定并安装牢固，不能有振动影响，接地良好；两侧面和顶部隔板完整，门开闭灵活。

1）柜体与基础型钢固定牢固，安装平直。柜面油漆完好，无污垢。

2）柜内元器件完整齐全，元器件与资料一致；开关触头良好，操作灵活；二次电路接线正确、布线合理美观、标志清晰齐全，绝缘符合要求；试验各表记录准确，继电器接线正确、动作准确。

3）用塞尺检查母线连接处的接触情况；抽屉式配电屏应灵活轻便、动静触头接触良好，有足够接触压力；手车或抽屉式配电柜推入与拉出灵活，同规格抽屉互换，接卸联锁可靠，照明装置齐全；柜内一次设备安装符合标准。

4）柜及电缆管道安装完后及时封堵，严寒地区防管内积水结冰；操作及联动正确，符合设计要求；检查接地正确；用1 000V 绝缘电阻表测量绝缘电阻不大于0.5MΩ，并按标准做交流耐压试验，一次电路的试验电压为工频1kV。

5）安装交付资料有竣工图或设计变更文件，包括说明书、标准、调试大纲、试验方法与记录、型式试验资料、产品合格证；备品备件清单、安装技术记录等。

4. 运行与维护

（1）送电前的检查　配电柜及电器元件名称、标志、编号清晰正确，手柄、按钮位置与现场相符，固定牢固，操作灵活；柜上操作模拟板与设备运行状态一致，“合”、“分”及信号指示正确。柜内照明完好、合理，观察清晰；隔离开关、断路器、熔断器、互感器等接线牢固，仪表接线正确可靠，仪表观察窗清楚；检测低压电路绝缘，将柜内所有出线电路刀开关断开，用500V 绝缘电阻表测量母线绝缘电阻不小于500MΩ；断路器、刀开关、接触器、互感器等的绝缘电阻不小于10MΩ；二次电路对地绝缘电阻不小于2MΩ。

（2）日常保养　清除配电屏及内部元器件与设备上的灰尘、污垢；处理松动的电气连接点，修整烧伤接触面，拧紧连接螺钉；更换损坏的元器件，检修断路器、接触器的触头与灭弧罩；检查地线、拧紧接地螺栓；必要时校验交流接触器线圈；根据负荷检查断路器的整定值，注意与上级保护装置配合；对装有电源联锁的低压电器进行传动试验，检查动作可靠性。

（3）检测　低压电缆用500V 的绝缘电阻表测量，绝缘电阻不小于10MΩ，低压电缆一般不做直流耐压试验；低压出线电路导线用500V 的绝缘电阻表测量相与相、相与地的绝缘电阻不小于5MΩ；系统耐压检测，断开各个出线低压电路终端开关，将柜内刀开关、断路器、接触器等闭合，从母线上的电压表后接耐压试验导线，低压试验电压1 000V，时间1min，无击穿。

5. 异常与故障处理

1）低压母线和设备连接点超温时，即停下次要负荷，控制温度上升，再停运缺陷设备检查。现场人员不能排除时须报告。

2）电器触头过热时，检查触头压力及接触头的紧固程度，消除氧化层，修理触头、调整压力；电磁噪声大，检查铁心平整、对齐，无污垢、杂质与锈蚀；检查短路环无断裂，电压不能太低等；灭弧罩脱落或损坏，立即

停止设备运行，更换灭弧罩。

3）接地线损坏或断开时如设备漏电，停电修理；三相电源断相时或电流互感器二次开路时，停电处理。

4）断路器或熔断器越级动作时，重新整定。

5）低压配电支路送电时即跳闸，检查开关质量、线圈参数、电流整定、机械装置等；送电及运行正常但存在部位打火，检查接线保证牢固；低压配电室通风良好，可强迫通风。

第二章　高压电器及高压成套设备

高压电器及高压成套设备是用于交流 3kV 及以上的变配电设备。开关电器包括断路器、隔离开关、负荷开关、接地开关及操作机构；保护电器包括熔断器、避雷器等；限流电器包括电抗器、电阻器等；测量电器包括电压继电器、电流继电器等；另外，还有电力绝缘子等。

第一节　常用高压电器

一、高压隔离开关

1. 使用条件

主要用途是断开无负荷电路，造成可见的空气间隙。隔离开关没有灭弧装置，不能切断负荷电流和短路电流，但可通断小电流电路，如通断电压互感器和避雷器；通断 35kV、长度 10km 以内的空载输电线路；通断 10kV、长度 5km 以内的空载输电线路；通断变压器中性点的接地线，但当中性点有灭弧线圈时，只有在系统没有故障时才能通断；通断断路器的旁路电流；通断励磁电流不大于 60A 的空载变压器，包括油 10kV、容量不大于 320kV·A，35kV、容量不大于1 000kV·A，10kV、容量不大于3 200kV·A 的变压器。

2. 高压交流隔离开关

（1）GN19—12 系列　12kV 电力系统中，作有电压无负载时分合电路。隔离开关配 CS6—1 型操动机构。其技术数据见表 2-1。每相导电部分通过两个支柱绝缘子固定在底架上。三相平行安装，导电部分由触刀和静触头组成，每相触刀中间均有拉杆绝缘子。拉杆绝缘子与安装在底架上的主轴相连，主轴通过拐臂与连杆和 CS6—1（T）型操动机构借用户自备连杆接至辅助开关一起连动。导电部分静触头装在两端的支柱绝缘子上，每相触刀由两片槽形铜片组成，增大了触刀散热面积，对降低温升有利，并提高触刀机械强度和开关动稳定性。触刀一端通过轴销安装在静触头，另一端与静触头连接，触刀接触压力由两端接触弹簧维持。

GN19—12、GN19—12C 中1 000～1 250A 规定在可分合接触处装磁锁压板，即当短路电流通过时，加强两槽形触刀间的吸引力，并增加接触压力，

提高开关触头的动热稳定性。其外形见图 2-1，安装尺寸见表 2-2、表 2-3。

表 2-1　GN19—12 系列交流隔离开关技术数据

型号规格		额定电压/kV	额定电流/A	4s 短路时耐受电流/kA	额定峰值耐受电流/kA	1min 工频耐压/kV		雷电冲击耐压/kV	
						对地和相间		断口间	
GN19—12/400	GN19—12C/400	12	400	12.5	31.5	42	53	75	90
GN19—12/630	GN19—12C/630		630	20	50				
GN19—12/1 000	GN19—12C/1 000		1 000	31.5	80				
GN19—12/1 250	GN19—12C/1 250		1 250	40	100				

注：GN19—12 型为平装型；GN19—12C 型为穿墙型（带套筒）；其中，C1—转动在套管侧，C2—开断在套管侧，C3—两侧均为套管。

表 2-2　GN19—12/400～1 250系列交流隔离开关的安装尺寸（1）

（单位：mm）

型号	F	W	W_1	W_2	W_3	H	H_1
GN19—12/400	14×24	450	85	25	240	460	177
GN19/630		470					
GN19/1 000	18×28	510	100	37	270	520	192
GN19/1 250							

表 2-3　GN19—12/400～1 250系列交流隔离开关的安装尺寸（2）

（单位：mm）

型号	F	W	W_1	H	H_1	H_2
GN19—12/400	14×24	410	65	641	460	177
GN19/630		420				
GN19/1 000	18×28	465	75	777	510	192
GN19/1 250		465				

（2）GN19－40.5 系列　三相 50Hz、35kV 线路中，作有电压无负载时接通或隔离电源。其技术数据见表 2-4。每相导电部分通过两个支柱绝缘子固定在底架上，三相平行安装。导电部分由触刀和静触头组成，每相触刀中间均安装省力机构。拉杆绝缘子一端与省力机构连接，另一端与安装在底架上的主轴相连。主轴上焊有一停档，保证触刀“分”、“合”时到达终点位置。主轴一端通过拐臂和客户自备的连杆与手力机构连接，手动机构借助客户自备连杆接至客户自备的辅助开关一起联动。其外形见图 2-3 和图 2-4。使用注意事项如下：

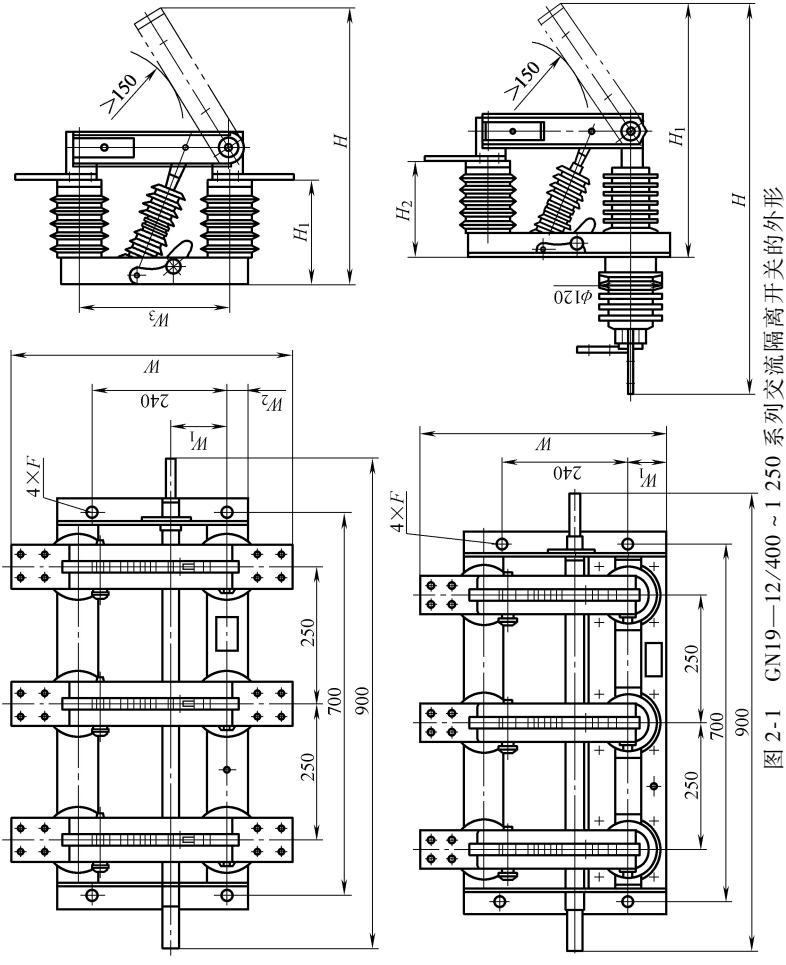


图 2-1　GN19—12/400～1 250 系列交流隔离开关的外形

① 安装高度，转轴至地面 2.5 ~ 10m，手动机构安装位置 1 ~ 1.3m，为手柄转轴中心至地面距离，机构装在隔离开关左或右边。

② 可安装在墙壁或金属架上，水平或垂直安装。

③ 确定安装位置时，开关在分合闸时，带电部分对地缘距离不小于 300mm。

④ 固定隔离开关定于墙上螺栓 M16，进入砖墙深度不小于 90mm，水泥墙深度不小于 75mm。

表 2-4　GN19—40.5 系列户内高压交流隔离开关技术数据

项目	参数	项目		参数
额定电压/kV	40.5	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	对地、相间	185
额定电流/A	2 000 ~ 3 150		断口	215
4s 热稳定电流/kA	50	1min 工频耐受电压(有效值)/kV	对地、相间	95
动稳定电流/kA	125		断口	115
污秽等级	Ⅱ			

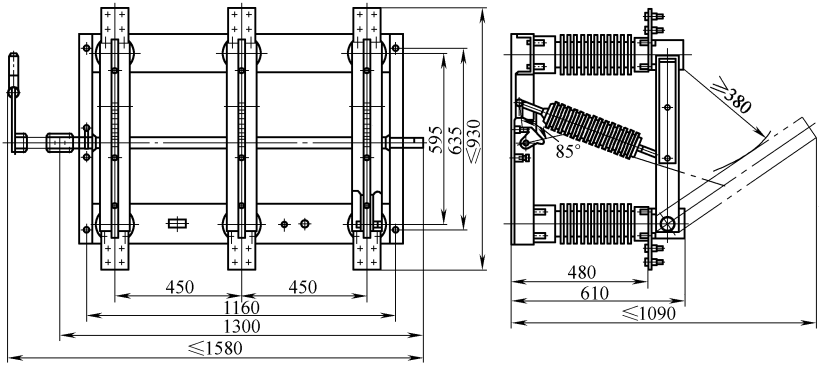


图 2-2　GN19—40.5（w)/2 000型
交流隔离开关的外形

（3）GN21 - 20 系列　由三个封闭外壳的单极隔离开关组成，用于大型发电厂，配合 20 ~ 30 万 kW 发电机组离相封闭母线，作无负载时切断与闭合发电机端口线路。配以 CJ2—Ⅰ型操动机构，可三相联动操作，另备操作手柄，供检修和调整时使用。电动分合闸 78s。隔离开关由三个独立单极和操动机构组成。每极底座有 6 个支柱绝缘子，支撑动、静触头，封闭外壳和导电回路呈筒形，水平布置，便于与封闭母线连接。操动机构连接底座上的传动机构箱、控制动触头，使动触头作轴向水平移动以进行分、合闸操作。

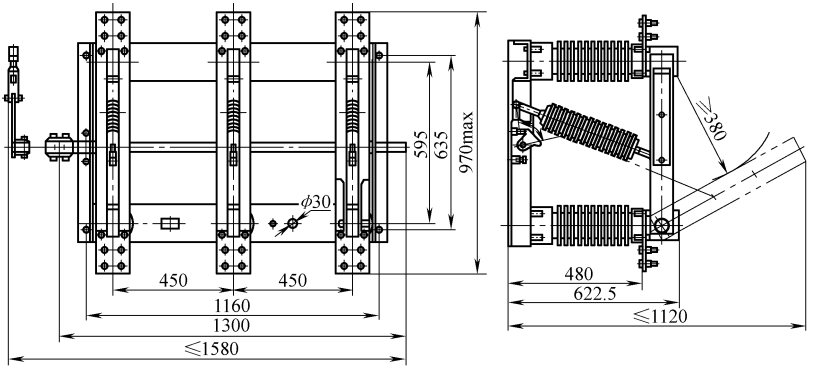


图 2-3　GN19—40.5（w）/3 150型
交流隔离开关的外形

技术数据见表 2-5，外形安装尺寸见图 2-4，具体尺寸见表 2-6。分、合闸时，动、静触头接触可靠；定期检查支柱绝缘子、操作绝缘子不可损坏；定期检查断口距离。

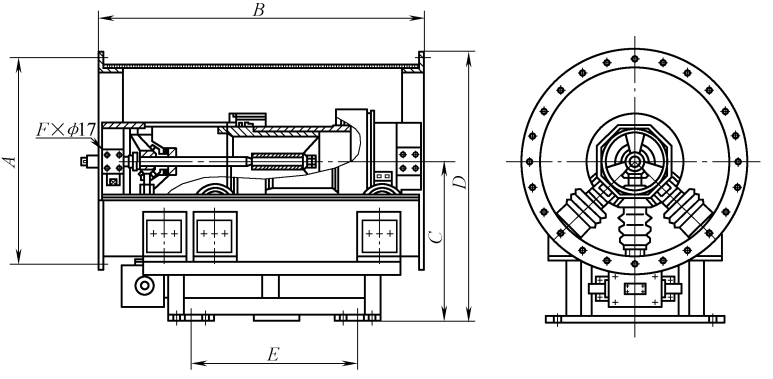


图 2-4　GN21—20 系列隔离开关的外形

（4）GN24—12D 系列户内高压交流隔离开关　三相高压开关设备，50Hz、12kV 电力系统中，作有电压无负载时分合电路。有合闸、分闸、接地 3 个工作位置，能分步动作，具备防止带电挂接地线及防止带接地合闸的防误性能，配用 KGN 等开关设备。隔离开关配 CS6—18 型或 CS6—1 型手

操。技术数据见表 2-7。该系列产品是隔离开关与接地开关的组合，由底架、支柱绝缘子、拉杆绝缘子、主触刀、接地触刀、触头及传动板等组成。主触刀和接地刀通过传动板控制，具有三个动作位置：主触刀合闸，接地刀打开；主触刀、接地触刀同时打开；主触刀打开，接地刀合闸，具备“防止带电挂接地线”和“防止带接地线合闸”。有平装、穿墙、双接地等型式。其外形见图 2-5，安装尺寸见表 2-8。

表 2-5　GN21—20 系列户内高压交流隔离开关技术数据

型号	额定电压/kA	额定电流①/A	额定峰值耐受电流/kA	额定短时耐受电流/(kA/s)	1min 工频耐受电压/kV		雷电冲击耐受电压/kV		CJ2—Ⅰ型机构		单极重量/kg
					对地	断口	对地	断口	电动机电压/V	控制电压/V	
GN21—20/10 000	20	10 000	400	149/2	50	60	125	145	AC 380	AC 220、AC 380	700
GN21—20/12 500		12 500	250	80/5,3							1 100

① 隔离开关外壳与封闭母线外壳之间用橡胶波纹管连接时，额定电流达13 000A。

表 2-6　GN21—20 系列户内高压交流隔离开关的安装尺寸

（单位：mm）

型号	*A*	*F*(孔数)	*B*	*E*	*C*	*D*
GN21—20/10 000	ϕ980	32	1 482	770	732	≤1 237
GN21—20/12 500	ϕ1 160	49	1 550	845	850	≤1 450

表 2-7　GN24—12D 系列户内高压交流隔离开关技术数据

额定电压/kV	额定电流/A	4s 额定短时耐受电流/kA	额定峰值耐受电流/kA	1min 工频耐受电压/kV	雷电冲击耐受电压/kV
12	400	12.5	31.5	42	75
	630	20	50		
	1 000	31.5	80		
	1 250	40	120		

表 2-8　GN24—12D 系列户内高压交流隔离开关的安装尺寸

（单位：mm）

型号	*F*	*W*	W_1	W_2	W_3	*H*
GN24—12SD11/400～630	14×24	240	116	510	810	460
GN24—12SD11/1 000～1 250	18×28	270	140	535	840	520

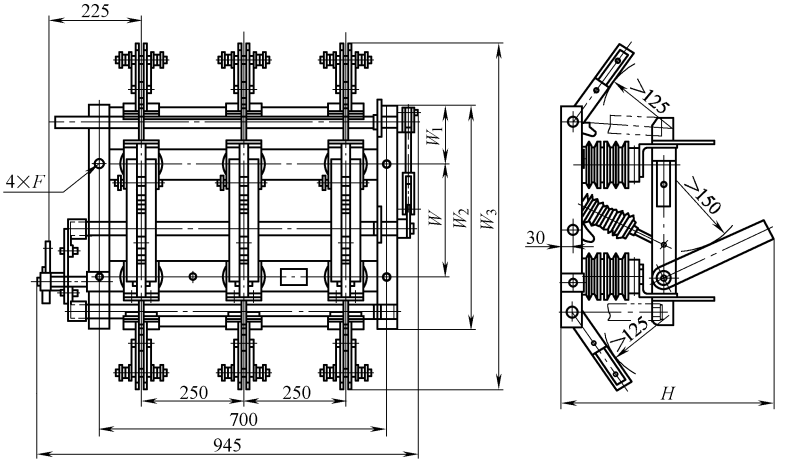


图 2-5　GN24—12D 系列户内高压交流隔离开关的外形

（5）GN39—27.5 型　用于单相、50Hz、27.5kV 电气化铁道牵引变电所内各个单元间隔，包括主变出线、母联、馈线、并联电容短路检测母联、27.5kV 所用变、电压互感器间隔等用作分断隔离。外形安装尺寸见图 2-6，技术数据见表 2-9。直动式隔离开关通过电动机带动推杆，推动推杆上的传动销，再推动主动轴拐臂，主动轴转动。主动轴通过连杆结构及绝缘拉杆操纵开关合闸或分闸。触刀动作采用直动式结构，紧凑、动作平稳、无噪声、可靠性高。触刀采取压边形式，强度高。电动推杆传动平稳省力。同时有手动装置，停电及电动操动机构故障时手动合闸或分闸。控制模块提供控制分、合闸功能，合、分闸位置信号。控制模块更换、检修方便。

1）户内使用；－15～＋40℃，日温差不大于 15℃；海拔小于3 000m；日平均相对湿度不大于 95%；无火灾、爆炸、严重污秽、化学腐蚀及剧烈振动的场所。

2）安装前，检查铭牌、合格证等，装箱单与实物相符，清理灰尘污垢。

3）投运前，核对额定电压与电流、机构功能、合闸方式，操作并检查各项指标；正常运行时应定期维护，绝缘表面清洁，摩擦部位定期润滑；不随意更换与原型号规格不一致的电器元件；操作人员需要初步了解结构、性能及安装调整，记录运行中的问题。

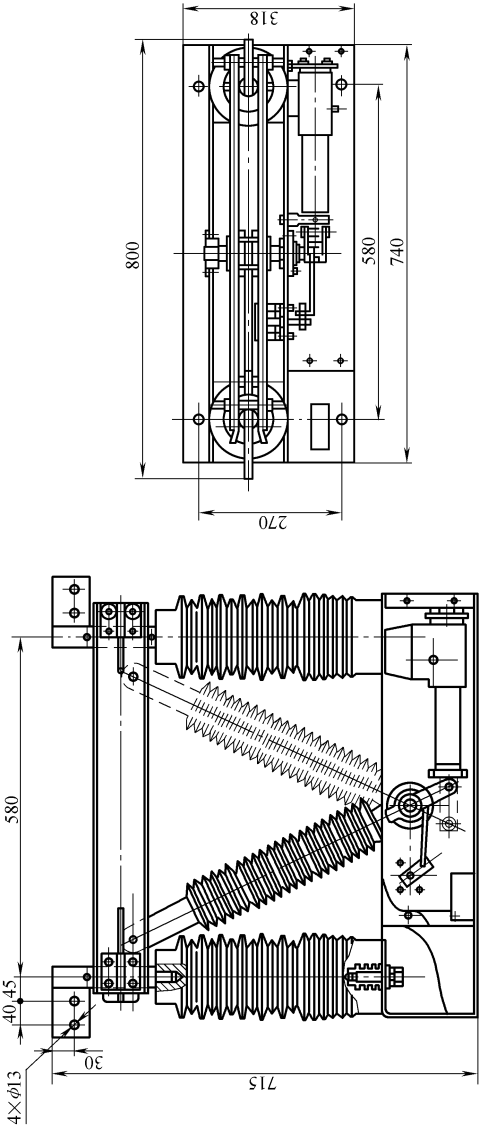


图 2-6　GN39—27.5 型户内高压交流隔离开关的外形

表 2-9 GN39—27.5 型户内高压交流隔离开关技术数据

项目		参数
额定电压/kV		27.5
额定电流/A		1 600
额定频率/Hz		50
1min 工频耐受电压/kV	相对地	80①
	隔离断口间	90①
雷电冲击耐受电压/kV	相对地	185
	隔离断口间	215
额定峰值耐受电流/kA		80
额定短时耐受电流/kA		31.5
额定短路持续时间/s		3
机械耐久(M1 级)/次		2 000
触头压力/N		350 ± 50
电动机功率/W		200
额定操动电压/V		AC220V
质量		30
外形尺寸(长×宽×高)		800×318×715(断开时最大1 160×318×715)

① 在海拔高于1 000m 出厂试验时，该值需乘以海拔修正系数。

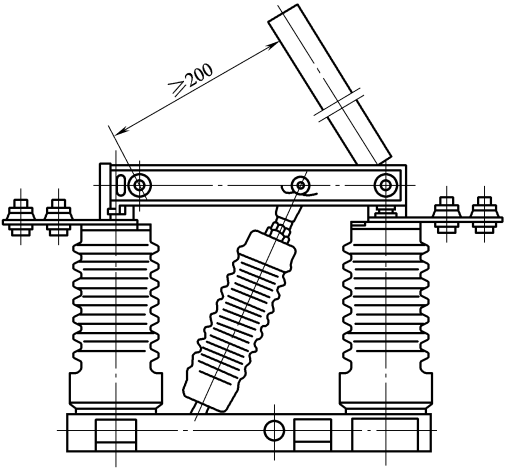
（6）GW1—12 系列户外高压交流隔离开关　针对原 GW1 开关的改型设计，可替代现行 10kV 户外隔离开关。三相交流电路中，作有电压无负载分合电路。技术数据见表 2-10。由触头、触刀、绝缘子和底架等组成。分不接地、动触头接地、静触头接地三种结构。不接地时配用 CS8—5 手动操作机构，并配 F1—4 辅助开关。接地时用 CS□手动操作机构；1 台机构、1 个手柄实现“主分－地合－地分－主合”操作，不发生误操作。开关可做成单相及三相整体结构形式。其外形见图 2-7。

表 2-10 GW1—12 系列户外高压交流隔离开关技术数据

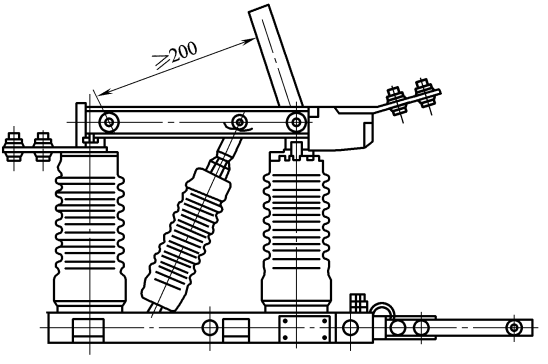
项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	热稳定电流(有效值)/kA	20、40
额定电流/A	630、1 250	热稳定时间/s	4
动稳定电流(峰值)/kA	50、100		

（7）GW4—40.5～252 系列　三相 50Hz、户外高压电器，40.5～252kV 系统中，作高压线路有电压无负载时切换，对被检修的高压母线、断路器等电气设备与带电的高压线路之间电气隔离。其技术数据见表 2-11。双柱单断口、水平旋转开启式结构，每组由三个独立单极组成，每个单极开关由底

座、支柱绝缘子、主触刀、接地、操动机构及传动部分等组成，开关每极有两个绝缘子，分别装于底座两端轴承座上；主触刀分为触头侧和触指侧，分别固定在支柱绝缘子上，联锁装置设在主轴体与接地转轴上。产品规格有不接地、单接地和双接地三种。隔离开关配手操或电操，附装接地开关配人力操动机构。

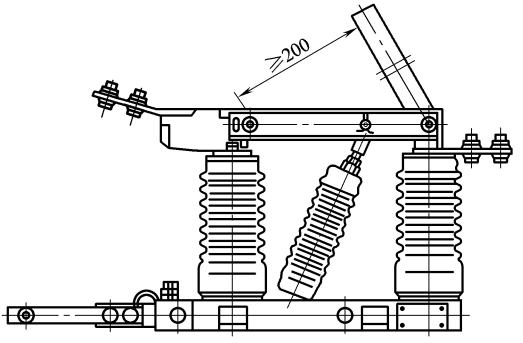


GW1—12G



GW1—12G(D1)

图 2-7　GW1—12 系列户外高压交流隔离开关的外形



GW1—12G(D2)

图 2-7　GW1—12 系列户外高压交流隔离开关的外形（续）

表 2-11　GW4—40.5～252 系列户外高压交流隔离开关技术数据

项目		GW4—40.5D（W）	GW4—72.5D（W）	GW4—126D（W）	GW4—252D（W）
额定电压/kV		40.5	72.5	126	252
额定电流/A		1 250～5 000	1 250～4 000		
额定短时耐受电流/kA		40、50、63			
额定短时耐受电流持续时间/s		4			3
额定峰值耐受电流(峰值)/kA		100、125、160			
1min 工频耐受电压(有效值)/kV	相间/对地	95	160	230	460
	隔离断口	118	200	230(+70)	460(+145)
额定雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	相间/对地	185	350	550	1 050
	隔离断口	215	410	550(+100)	1 050(+200)
接地刀最不利位置时 1min 工频耐受电压/kV		/	94	145	291
辅助和控制电路工频耐压/kV		2			
机械寿命/次		3 000			
开合电容电流/A		1			
开合电感电流/A		0.5			
开合母线转换电流的能力(额定转换电流)/A		$0.8I_e/300/100$			

3. 安装

1）高压隔离开关相间距离与设计要求之差不大于 5mm，相间连杆在同

一条水平线上。

2）支柱绝缘子应垂直于底座，连接牢固；同一绝缘子柱各绝缘子中心线在同一垂直线；同相各绝缘子柱的中心线在同一平面内。

3）各支柱绝缘子间应连接牢固，触头相互对准，接触良好；均压环安装牢固；操作机构安装位置正确，固定牢固，操作灵活；定位螺钉调整适当并固定，所有转动部分涂润滑油。

4）慢慢合上高压隔离开关，观察触刀对准中心落下。室内高压隔离开关合闸后，有3～5mm备用行程，三相同步。合上开关，用0.05mm塞尺检查接触紧密程度，线接触不应塞进；面接触可塞入4～6mm。

4. 操作

1）手动合闸时应迅速果断，在合闸行程结束时不能用力太猛。

2）使用隔离开关切断小容量变压器空载电流，切断一定长度的架空线、电缆线的充电电流，解环操作时，会产生电弧，应迅速拉开隔离开关。

3）禁止带负荷操作，操作隔离开关前应检查断路器的合分位置；合闸后应保证接触紧密；拉闸时应保证每相已断开；操作后应将隔离开关的操作把手锁牢。

4）如发现在操作时带负荷误合隔离开关，即使合错或在合闸时发生电弧，也不要拉开隔离开关，如拉开隔离开关将造成三相电弧短路。如发生错拉开隔离开关时，在触刀刚离开固定触头时，应立即合上可消除电弧。如隔离开关刀片已离开固定触头，则不能将误拉的隔离开关再合上。

5. 巡视检查

1）监视隔离开关电流不能超额定值，温度不高于70℃，触头接触良好，无过热现象。

2）检查隔离开关的绝缘子，完整无裂纹、无放电痕迹和异常声；隔离开关本体与操作机构无损伤，各部件紧固、位置正确，电箱密封良好。

3）运行保持不偏斜、不振动、不锈蚀、不过热、不打火、不污秽、不疲劳、不断裂、不烧伤、不变形。在分闸位置，安全距离足够，定位锁到位。带接地开关的隔离开关接地良好，刀片接触良好，闭锁正确。带闭锁装置的隔离开关不可解锁操作，闭锁装置失灵时，重新核对操作指令，检查断路器位置等，确保不带负载拉合隔离开关。

4）合接地开关前，必须确保各侧电源断开，再次验明后操作；在运行或定期检查中，发现防误装置存在缺陷，及时处理。

6. 常见故障与处理（见表 2-12）

表 2-12　高压隔离开关常见故障与处理

故障	原因及处理
接触部分发热	①压紧弹簧或螺钉松动,检查并调整,或更换弹簧 ②接触面氧化,电阻大,用细砂纸研磨,减小接触电阻 ③刀片与静触头接触面积过小或过负荷运行,更换容量大的隔离开关或降低负荷
绝缘子松动、表面闪烁	①表面脏,停电清扫,在绝缘子表面涂上防污涂料 ②胶合剂膨胀、收缩,更换绝缘子或重新胶合
刀片弯曲	接触面中心线应在同一条直线上,调整刀片、瓷柱位置,并紧固松动的部件
不能分闸	传动机构卡住、接触部位卡住或结冰,确定原因后,扳动操作手柄,不可强行拉动
不能合闸	①轴销脱落、铸件断裂或电气故障,会造成刀杆与操作机构脱节,应固定轴销、更换损坏部件、消除电气故障。如故障时不处理,可用绝缘棒操作或保证安全时用扳手转动每相转轴 ②传动机构松动,接触面不在同一条直线上,应调整松动部件,使其在同一条直线上
自动掉落合闸	机械闭锁装置失灵,检修或更换

二、高压负荷开关

通断额定电压和电流的电路，并造成可见的空气间隔。不能切断短路电流，与高压熔断器串联使用可切断负荷电流，用高压熔断器切断短路及过载电流，可代替断路器。其型号见图 2-8。

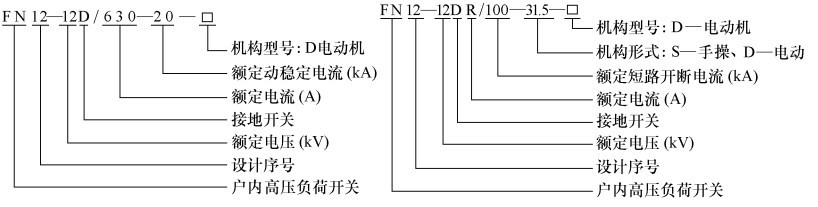


图 2-8　负荷开关的型号

1. 户外高压交流负荷开关型号的选择

（1）FZW3—12 系列　50Hz、额定 630A、三相 12kV 户外高压开关设备，用于开断、关合城网和农电网配电系统的负载电流，新型的绝缘结构设计，真空灭弧，开断后有明显可见隔离断口兼有隔离开关功能，开断容量大、无填充物、无环境污染、无爆炸危险、电寿命长、免维护。线路终端保护，先进可靠。其外形见图 2-9，技术数据见表 2-13。三相分体支柱式结构，每相有一只真空灭弧室置入一机构箱内。真空灭弧室与隔离刀连动，在

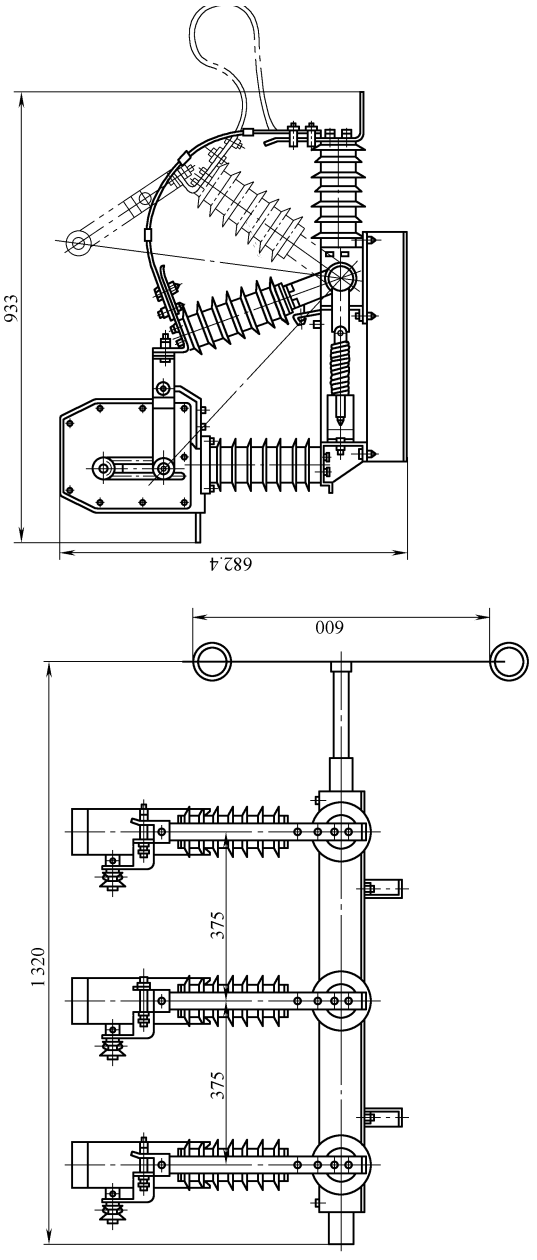


图 2-9　FZW3—12 系列户外高压交流负荷开关的外形

开关关合与分段时，通过动作时序配合，分别比隔离刀提前接入和滞后退出电路。正常工作时电流由隔离刀触头导通，真空灭弧室被短接而不通电流。真空灭弧，开断能力强、无残漏、无环境污染、无爆炸危险、电寿命长、免维护。开关分闸时拐臂带动隔离刀转到另一稳态，产生明显可见隔离断口。

表 2-13　FZW3—12 系列户外高压交流负荷开关技术数据

项目		参数	项目		参数
额定电压/kV		12	额定短时持续时间/s		4
额定电流/A		400、630	额定峰值耐受电流/kA		40、50
额定频率/Hz		50	额定短路关合电流(峰值)/kA		
1min 工频耐受电压	真空灭弧室断口/kV	42	额定有功负载开断电流/A		400、630
	相间、相对地/kV	42(干试)、30(湿试)	额定闭环开断电流/A		
	隔离断口/kV	48(干试)、35(湿试)	5% 额定有功负载开断电流/A		20、31.5
			额定电缆充电开断电流/A		10
雷电冲击耐受电压	相间、相对地/kV	75	额定空载变压器开断容量/kV·A		1 250
	隔离断口/kV	85	机械寿命	真空灭弧及机构/次	10 000
额定短时耐受电压/kA		16、20		隔断触刀/次	2 000

（2）FZW3A—12 型　50Hz、10kV 户外三相交流电力系统中，作开闭负载电流，也可作开闭空载线路、空载变压器。由灭弧室、隔离开关、操动机构等组成。采用垂直旋转结构，通过上下绝缘子固定在底架上。灭弧室由性能优异的真空管和手动快速分闸机构组成，固定在隔离开关静触头侧。操动机构安装在底架的内右侧，通过连杆与隔离开关主轴连接。其外形见图 2-10，技术数据见表 2-14。

表 2-14　FZW3A—12 型户外高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	额定有功负载开断电流/A	630
额定频率/Hz	50	额定闭环开断电流/A	
额定电流/A	630	5% 额定有功负载开断电流/A	31.5
额定电缆充电开断电流/A	10	1min 工频耐受电压(有效值)(对地、相间/隔离断口)/kV	42/48
额定空载变压器开断电流/A	6 000kV·A 变压器空载电流	雷电冲击耐受电压(峰值)(对地、相间/隔离断口)/kV	75/85
额定短时耐受电流/(kA/s)	16/4	1min 湿耐受电压(对地、相间/隔离断口)/kV	30/34
额定电容开断电流/A	400		
额定峰值耐受电流/kA	40	灭弧室断口 1min 工频耐受电压/kV	20
额定短路关合电流/kA		机械寿命/次	2 000

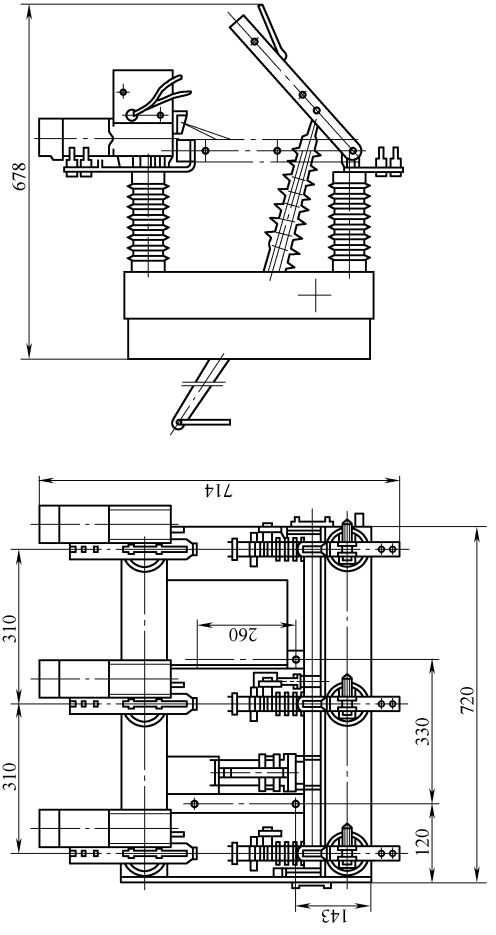


图 2-10　FZW3A—12 型户外高压交流负荷开关的外形

（3）FZW16（A）—12 型　50Hz、10kV 系统中，作开断和闭合负载电流、空载线路、空载变压器，是户外线路及线路终端保护的电器开关设备。其技术数据见表 2-15。

它包括隔离触刀和油灭弧室，油灭弧室由憎水高强度绝缘材料热固压制成的壳体、灭弧油和动静触头组成，灭弧油绝缘和灭弧性能良好，动静触头采用弹簧过中原理的手动快速机构进行操控，保证负载电流开断不受操作快慢影响。安装型式有水平型、垂直型及熔断器组合型，可装于电线杆顶端或中段。采用手动连杆机构操作，并可锁定在分合闸位置，分闸后开关有可见断口，起到隔离保护作用。维护工作量少，油灭弧室每 6 年检查 1 次油位，每 10 年更换 1 次油并检查触头状况。油灭弧室不会发生渗油。其外形见图2-11。

表 2-15　FZW16（A）—12 型户外高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	额定开断电缆充电电流/A	10
工频耐受电压(相间/断口)/kV	42/48	2s 热稳定电流/kA	20
冲击耐受电压(相间/断口)/kV	75/85	动稳定电流(峰值)/kA	50
额定开断负载电流/A	630	关合电流(峰值)/kA	20

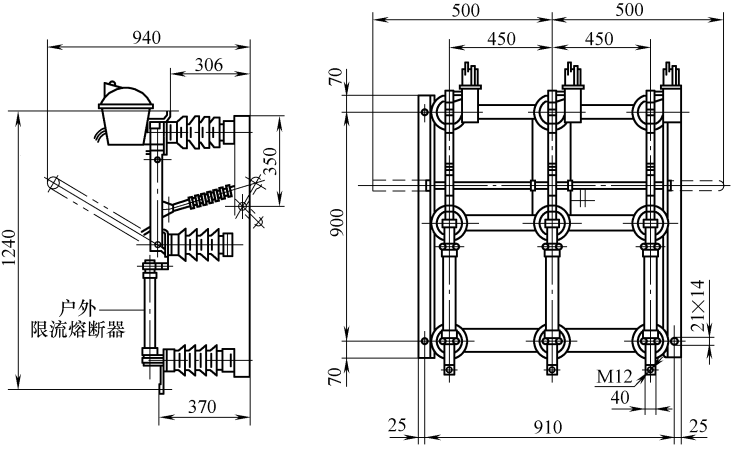


图 2-11　FZW16（A）—12 型户外高压交流负荷开关的外形

（4）FKN12—12 型　三相、50Hz、3.6～12kV 配电系统中，接收与分配电能，用作环网开关柜、箱式变电站、开闭所等设备，符合 GB/T 3804和

GB/T 1692。其技术数据见表 2-16。

采用框架结构，分闸时隔离断口明显，与同类产品相比，增大压气筒内径，增大压气量，灭弧能力强，开断能力强；设有金属隔板，接地开关合闸时，与接地开关联动的金属隔板自动将带电的静触头（母线室）封闭，保证检修或更换熔断器时绝对安全；负荷开关可选装电动操动机构，可电动或手动，实现远距离控制；可选装辅助开关、脱扣器。可选装透明罩代替金属隔离板实现将带电的静触头（母线室）封闭。

与接地开关之间有机械联锁，防误操作；负荷开关有门锁，将开关柜门与开关联锁，保证柜门打开或柜门未锁好时，负荷开关不能操作；当接地开关未合闸时，柜门不能打开。防误机构满足“五防”。其外形见图 2-12，安装尺寸见表 2-17。

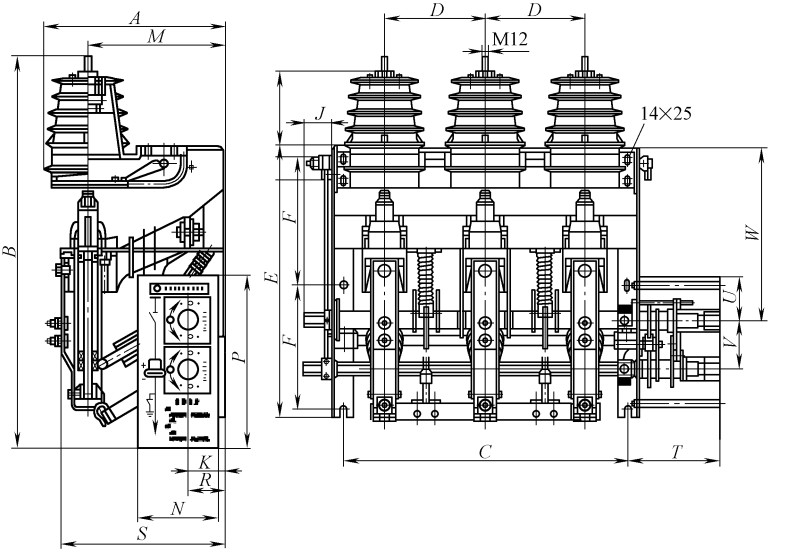


图 2-12　FKN12—12 型户内高压交流负荷开关的外形

表 2-16　FKN12—12 型户内高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	开断空载变压器容量/kV · A	1 600
额定频率/Hz	50	额定电缆充电开断电流/A	10
额定电流/A	630	固分时间/ms	45

（续）

项目	参数	项目	参数
额定短时耐受电流/kA	20	1min 工频耐受电压/kV	42(相间、相对地)、48(隔离端口间)
额定峰值耐受电流/kA	50		
额定短路关合电流/kA	50	雷电冲击耐受电压/kV	75(相间、相对地)、85(隔离断口间、峰值)
额定有功负载开断电流/A	630		
额定闭环开断电流/A		机械寿命/次	>2 000

表 2-17　FKN12—12 型户内高压交流负荷开关的安装尺寸

（单位：mm）

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*J*	*M*	*N*	*P*	*S*	*T*	*U*	*V*	*W*
380	840	600	210	583	270	65	287	171	370	337	194	95	105	374

（5）FLN26—12 型　50Hz、三相 10kV 电力系统，用作环网供电单元、预装式变电站及其他开关装置的主元件，特别适于中小容量变压器的保护与控制。其技术数据见表 2-18。

采用“三工位”一体结构，由上下箱体、灭弧装置、动静触头、操动机构等组成。上下箱体由环氧树脂浇注，内部配有三工位开关，即接地位置、分闸位置、负荷开关合闸位置，开关正面配有 SF_6 气体压力表，产品可手动、电动操作。其外形见图 2-13。

表 2-18　FLN26—12 型户内高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	组合电器的转移电流/A	1 500
额定电流/A	630	机械寿命/次	10 000、2 000
额定短时耐受电流/(kA/s)	20/3、25/2	满负载开断次数/次	100
额定峰值耐受电流/kA	50、63	SF_6 气体额定压力(20℃时表压)/MPa	0.04
额定短路关和电流/kA	50		

（6）FLN36—12D 型　50Hz、三相 12kV 电力系统中，企业、高层建筑、住宅小区环网开关设备、预装式变电所等场所，作断、合负载电流，或关合和开断空载长线、空载变压器及电容器组等。

和限流熔断器串联组合可代替断路器，符合标准 GB 3804、GB 16926、IEC 60265—1、IEC 60420。具有“合-分-接地”三工位灭弧室、联锁可靠、断口绝缘强度高、大爬距设计、出线端用均压保护罩保护、特殊的动密封和固定密封设计且可靠性较高，方便观察位置装有监视压力表。其技术数据见表 2-19。

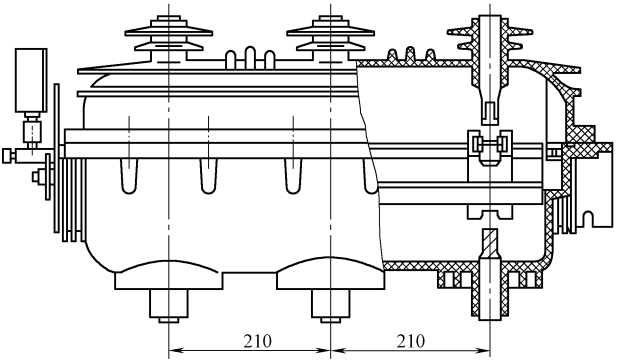


图 2-13　FLN26—12 型户内高压交流负荷开关的外形

表 2-19　FLN36—12D 型户内高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目		参数
额定电压/kV	12	额定电缆充电开断电流/A		10
额定功率/Hz	50	额定转移电流/A		1 700(1 800)
额定电流/A	630	1min 工频耐受电压	相对地、相间/kV	42
额定短路关合电流(峰值)/kA	50		隔离断口/kV	48
额定峰值耐受压电流/kA		雷电冲击耐受电压	相对地、相间/kV	75
额定短时 4s 耐受电流/kA	20		隔离断口/kV	85
接地开关额定峰值耐受电流/kA	50	机械寿命/次		2 000
接地开关额定短时 4s 耐受电流/kA	20			
开断空载变压器容量/kV · A	1 250(1 600)	额定 SF_6 气体压力/MPa		0.04 ~ 0.05
额定有功负载开断电流/A	630			
额定闭环开断电流/A		额定操作电源电压/V		AC 220/DC 110

由上下壳体、灭弧支柱、动静触头、操动机构等组成，增加熔断器触头座和撞击脱扣系统即成为组合电器。上下壳体为环氧树脂构成的真空充气内腔，内腔中动触头公用，主开关上、下静触头和接地静触头，循环完成合-分-接地三工位操作，在两种基本手力弹簧储能操动机构上可加装电动合、分闸，实现遥控操作。

外壳后部设有安全隔膜，当灭弧室内部故障压力过高时，防止过电压气

体冲破隔膜释放。充气内腔为0.04～0.05MPa的SF_6气体，密封性预期寿命20年。箱正面有气体压力表和位置指示，监视SF_6气体压力，位置指示装置直接与触头传动轴连接，指示动触头可靠工作位置。其外形见图2-14。

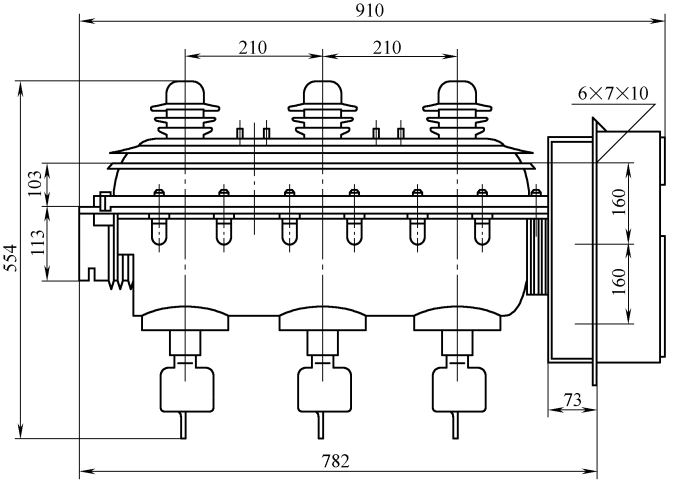


图2-14　FLN36—12D型户内高压交流负荷开关的外形

（7）FN16A—12型　50Hz、10kV系统中，可开断负载电流、过载电流及短路电流，组合开断短路电流，特别适于无油化、不检修电路、频繁操作，配CS6—1型或专用CS型操动机构，也可不必再配操动机构在开关背面直接操作。其技术数据见表2-20，负荷开关－熔断器组合电器技术数据见表2-21。

由底架、真空灭弧室、隔离开关、接地开关及操动机构组成，隔离开关通过上下绝缘子固定于底架，真空灭弧室通过绝缘子紧固于上下支架间，上下支架间加装了绝缘子支撑，增加整体稳定性。接地开关为可拆卸式，安装于真空灭弧室下端，操动机构装于底架的内侧，机械闭锁装置在底架的左右侧。

FN16A—12RD型组合电器是该负荷开关与高压限流式熔断器组合，熔断器上端固定于真空灭弧器下支架，下端通过接触座固定于绝缘子，接地开关与熔断器下支架组合。接地开关与隔离开关设有机械连锁。其外形见图2-15，负荷开关-熔断器组合电器的外形见图2-16。

表 2-20　FN16A—12 型户内高压交流负荷开关技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压及最高电压/kV	12	全波雷电冲击耐受电压(峰值)(对地、相间、真空断口/隔离断口)/kV	75/85
额定频率/Hz	50	额定短时耐受电流(热稳定)/(kA/s)	20/3
额定电流/A	430	额定短时耐受电流(动稳定)/kA	50
额定有功负载开关电流/A		额定短路关合电流/kA	
额定闭环开关电流/A		额定电流开断次数/次	10 000
5% 额定有功负载开断电流/A	31.5		
额定电缆充电开断电流/A	10	机械寿命/次	
		触头允许磨损累计厚度/mm	3
额定电容开断电流/A	400	分合闸操作力矩(力)/N·m(N)	120(240)
额定空载变压器开断电流/A	1 600kV·A 变压器空载电流	额定合闸操作电压/电流	220V/0.5A
1min 工频耐受电压(有效值)(对地、相间、真空断口/隔离断口)/kV	42/48	额定分闸操作电压/电流	220V/3A

表 2-21　FN16A—12 型户内高压交流负荷开关-熔断器组合电器技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压及最高电压/kV	12	额定短路开合电流(预期峰值)/kA	80
额定频率/Hz	50	1min 工频耐受电压(峰值)对地、相间/隔离断口/kV	42/48
熔断器最大额定电流/A	200		
额定转移电流/A	3 150	雷电冲击耐受电压(峰值)对地、相间/隔离断口/kV	75/85
熔管触发开关的分闸时间/ms	31		
额定短路开断电流(预期有效值)/kA	31.5	熔断器撞击输出能量/J	2～5

2. 安装

1）负荷开关的跳扣向下固定，不能顶住凸轮，再缓慢分闸、合闸操作，应灵活、无卡阻；检查弧形动触头与喷嘴间不存在过多的摩擦。

2）在分合闸位置，检查缓冲拐臂应均敲在缓冲器上；调节操动机构中的扇形板，可得到不同连接孔，或调节操动机构与负荷开关之间的拉杆长度。

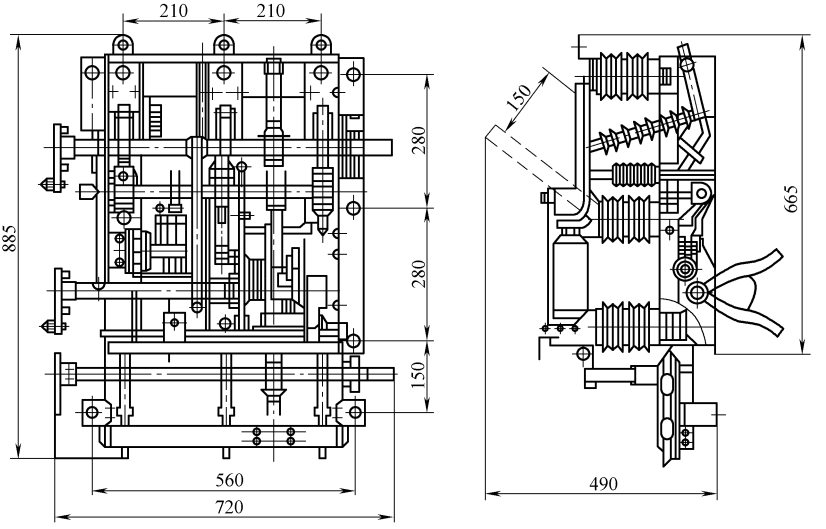


图 2-15　负荷开关的外形

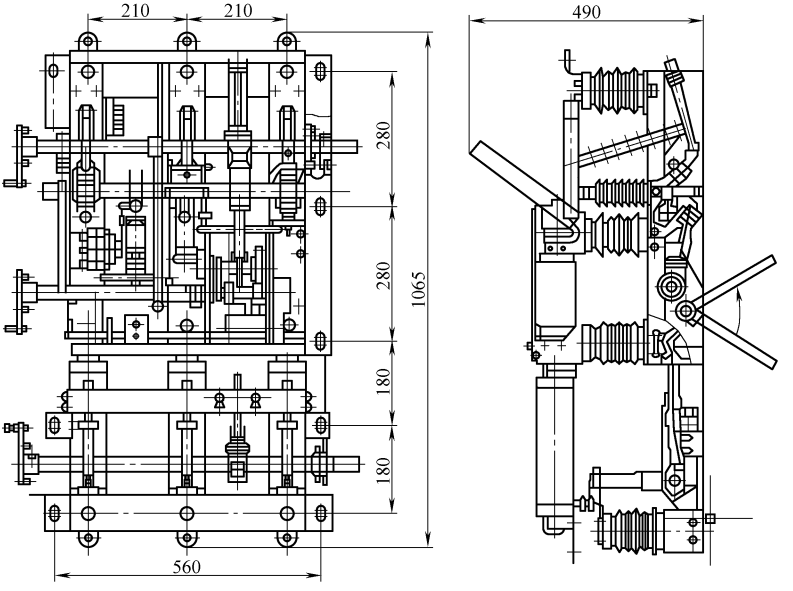


图 2-16　负荷开关-熔断器组合电器的外形

3）将负荷开关的跳扣返回，开关处于合闸位置，检查刀开关的下边缘与主静触头的标志线是否对齐。可以调节六角偏心螺钉满足要求。

4）三相弧形动触头不同时接触偏差应不大于 2mm，调节六角偏心螺钉满足要求。

5）负荷开关在断开位置，上静触头端面距离 182mm ± 3mm，可增减油缓冲器中的垫片。

3. 日常维护

1）只能通断规定的负荷电流，不允许短路操作。

2）操作频繁，应注意检查并预防紧固件松动，对活动部位加注润滑剂，动作灵活防锈；操作一定次数后，灭弧能力下降或不能灭弧，应定期检查；辅助开关使用一段时间后，可将其动、静触头的电源极性交换。

3）与熔断器组合使用时，选择高压熔断器，应考虑故障电流大于当负荷开关开断能力时，保证先熔断熔体，然后负荷开关才分闸；故障电流小于负荷开关开断能力时，应由负荷开关开断，熔体不熔断。

4）触刀接触无过热现象，绝缘子、拉杆表面无灰层、裂纹、缺损、闪烁痕迹。对油浸式负荷开关，检查油面，少油时应及时加油，防止操作引起爆炸。

5）如用真空负荷开关控制高压电动机或较大容量变压器时，必须采用 *RC* 吸收电路，且 *R*、*C* 选用要适当。

4. 常见故障处理

与隔离开关的处理办法相似。

三、高压熔断器

它用于输电线路、变压器及电压互感器的短路与过载保护。其型号见图 2-17。

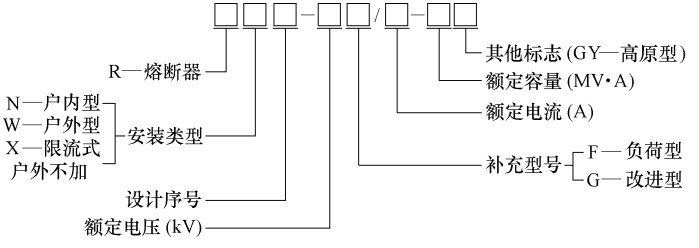


图 2-17　高压熔断器型号

1. 型号选择

（1）RW7—12 系列户外高压交流跌落式　作三相50Hz、12kV 输电线路及电力变压器过载或短路保护。其技术数据见表 2-22。由单柱式瓷件及导电系统和熔断件系统组成。合闸前，熔丝将熔断件系统上下活动关节闭锁；合闸时，载熔件上触头扣入上槽形静触头内，上下静触头因合闸行程而产生接触压力处于正常合闸位置。当熔丝熔断时，因电弧作用使消弧管产生气体。当电流过零时，由于气吹和去游离作用熄灭电弧。此时，熔断件系统在上下静触头弹性力和自重力的作用下自行跌落，形成明显的断口间隙，使电路断开。绝缘子为中空瓷套。金属件与绝缘子联合采用机械卡装结构，利于装配调整。金属件多为冲压件构成。其外形见图 2-18。

表 2-22　RW7—12 系列户外高压交流跌落式熔断器技术数据

额定电压/kV	额定电流/A	额定开断容量/MV · A
12	50	10 ~ 75
	100	30 ~ 100

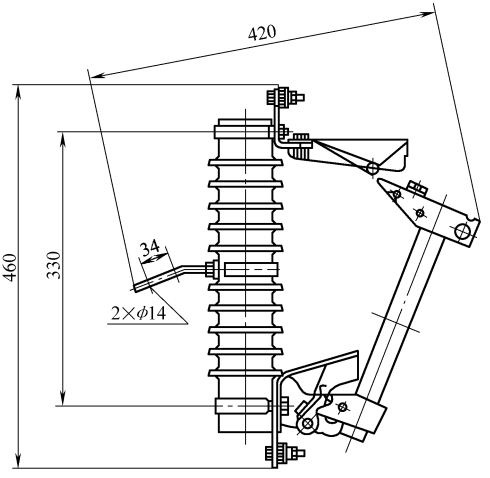


图 2-18　RW7—12 系列户外高压交流跌落式熔断器的外形

（2）RW11—12 系列户外高压交流跌落式　适用于三相 50Hz、12kV 输配电线路及电力变压器过载或短路保护。其技术数据见表 2-23。单极结构，熔管用新型钢纸环氧复合管，产气能力很高，机械强度高，上动静触头用梯

形接触，下动静触头用弧形接触，外附不锈钢弹性材料和热镀锌钢件，开断可靠、防腐性能好。载熔体用释压帽型逐级排气式结构，在开断大故障电流时为双向排气，开断小故障电流时为单向排气。熔断器适用于恶劣环境条件或高绝缘水平场所。其外形见图 2-19。

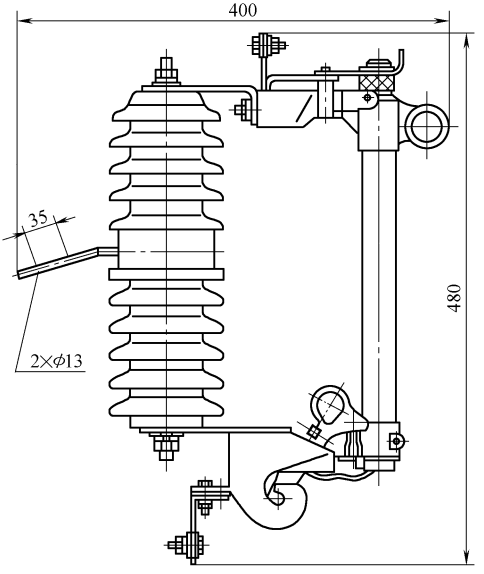


图 2-19　RW11—12 系列户外高压交流跌落式熔断器的外形

表 2-23　RW11—12 系列户外高压交流跌落式熔断器技术数据

额定电压/kV	额定电流/A	额定开断电流/kA
12	100	0.017 ~ 6.3
	200	

（3）XRNM1 -3.6 ~ 7.2 系列户内高压交流限流熔断器　采用英国技术，户内 50Hz、3.6 ~ 7.2kV 系统中，与其他保护电器如开关、真空接触器等配合使用，作高压电动机、电力设备过载或短路等的保护元件。其技术数据见表 2-24。由熔断件触头、熔管、撞击器、填料等组成，母线式直接用螺钉紧固在母线排，体积小、接触可靠。当故障电流超过规定值足够时间后，熔体熔化产生电弧，石英砂迅速熄灭电弧，切断电路，保证安全。插入式熔断器的安装尺寸见表 2-25及图 2-20，母线式熔断器的安装尺寸见表 2-26 及图 2-21。

表 2-24　XRNM1—3.6～7.2 系列户内高压交流限流熔断器技术数据

国内型号	国外型号	额定电压/kV	熔断器额定电流/A	熔体额定电流/A	额定开断电流/kA
XRNM1—3.6	WDF	3.6	125	50、63、80、100、125	50
	WFF		200	125、160、200	
			400	250、315、355、400	
XRNM1—7.2	WFN	7.2	160	25、31.5、40、50、63、80、100、125、160	40
			224	200、224	

注：以上是单管额定参数，可根据用户需要采用固定结构将熔断器并联，以得到高的额定电流值。

表 2-25　插入式熔断器的安装尺寸　（单位：mm）

型号	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
XRNM1－3(WFF×O)	390	312	340	140	246
XRNM1－3(WKF×O)	390	312	340	140	246
XRNM1－6(WFN×O)	500	461	150	160	266
XRNM1－6(WKN×O)	500	461	150	160	266

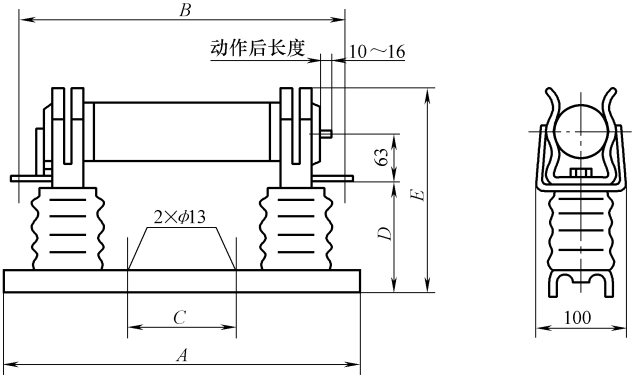


图 2-20　插入式熔断器的外形（1）

（4）XRNM1—3.6 ～12 系列户内高压交流限流熔断器　它采用英国技术，三相 50Hz、3.6～12kV 电力系统中，作高压电动机及其他电力设备过载或短路保护。其技术数据见表 2-27。由熔断件、导电触头、撞击器等组成，直接安装于母线，体积小、接触可靠。熔体由纯银带制成，耐老化、功

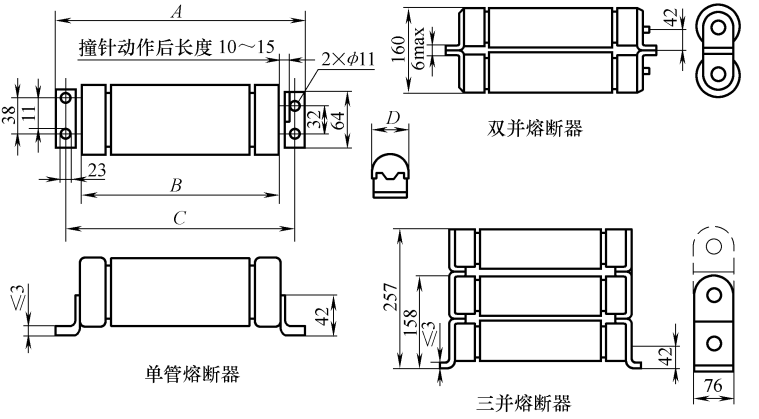


图 2-21　母线式熔断器的外形（1）

耗低。精制石英砂灭弧能力强，保证时间电流特性。撞击器可指示熔断并带动机械开关脱扣。其外形见图 2-22，安装尺寸见表 2-28。

表 2-26　母线式熔断器的安装尺寸　（单位：mm）

型号	*A*	*B*	*C*	*D*
XRNM1－3(WDF×O)	337	254	305	φ51
XRNM1－3(WFF×O)	337	254	305	φ76
XRNM1－3(WKF×O)	337	254	305	φ76
XRNM1－6(WFN×O)	486	403	454	φ76
XRNM1－6(WKN×O)	486	403	454	φ76

表 2-27　XRNM1—3.6 ～12 系列户内高压交流限流熔断器技术数据

型号规格		额定电压/kV	额定电流/A	熔体额定电流/A	额定开断电流/kA
国内型号	英国型号				
XRNM－3.6	WDF	3.6	125	50、63、71、80、100、125	50
	WFF		200	125、160、200	
	WKF		400	250、315、355、400	31.5
XRNM－7.2	WFN	7.2	160	25、31.5、40、50、63、80、100、125、160	40
	WKN		315	200、224、250、315	
XRNM－12		12	224	25、31.5、40、50、63、80、100、125、160、200、224	40

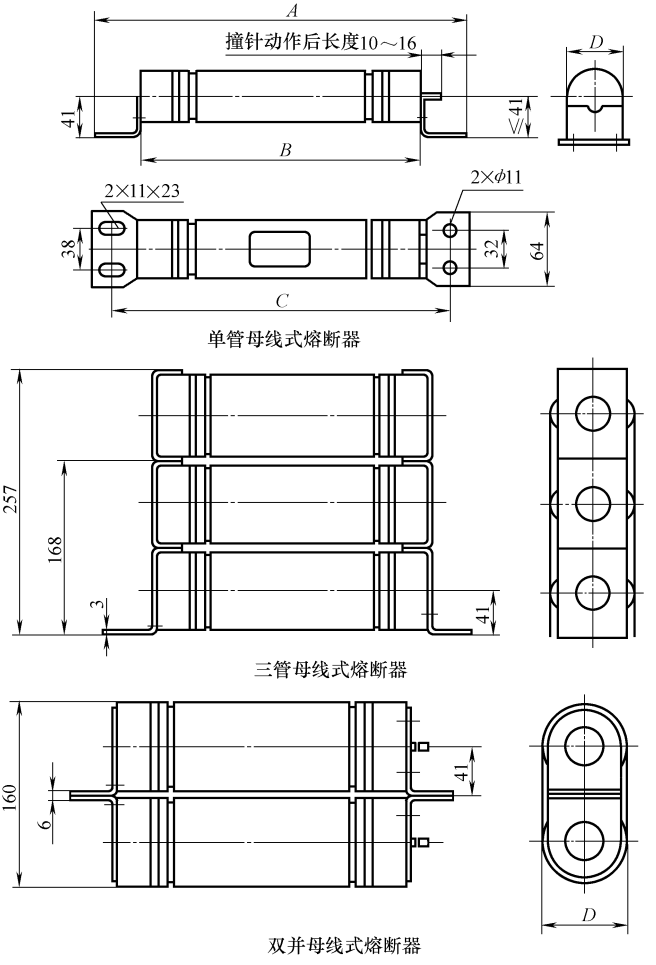


图 2-22　XRNM1—3.6～12 系列户内高压交流限流熔断器的外形

表 2-28　XRNM1—3.6～12 系列户内高压交流限流熔断器的安装尺寸

型号	*A*	*B*	*C*	*D*
XRNM—3.6(WDF)	337	254	305	φ51
XRNM—3.6(WFF、WKF)	337	254	305	φ76
XRNM—7.2(WFN、WKN)	486	403	403	φ76

（5）XRNT1—12 系列户内高压交流限流熔断器　采用英国技术，适用户内 50Hz、12kV 系统，与负荷开关、真空接触器等配套，作高压变压器及电力设备过载或短路等的保护元件。插入式熔断器的基本参数见表2-29，母线式熔断器的基本参数见表 2-30。

由熔断件触头、熔管、熔体、撞击器、填料等组成，分母线插入式安装，母线式可直接用螺钉紧固于母线排，体积小、接触可靠；插入式熔断器的底座与母线排连接，便于更换。与其他开关配合使用时，故障电流超过规定值足够时间后，熔体熔化产生电弧，灭弧石英砂迅速熄灭电弧，切断电路。撞击器在熔体熔化瞬间推动开关装置的脱扣机构发出信号，保护变压器及电力设备。插入式的外形见图 2-23，母线式的外形见图 2-24。

表 2-29　插入式熔断器的基本参数

国内型号	国外型号	额定电压/kV	熔断器额定电流/A	额定开断电流/kA	熔体额定电流/A
XRNT1—12	SDL	12	40	50	6.3、10、16、20、25、31.5、40
XRNT1—12	SFL		100		50、63、71、80、100
XRNT1—12	SKL		125		125
XRNT1—12	—		200		160、200

表 2-30　母线式熔断器的基本参数

国内型号	国外型号	额定电压/kV	熔断器额定电流/A	额定开断电流/kA	熔体额定电流/A
XRNT1－12	BDG	12	50	40	6.3、10、16、20、22.4、25、31.5、35.5、40、45、50
XRNT1－12	BFG		100		50、63、71、80、90、100
XRNT1－12	AKG		125		112、125

2. 跌落式高压熔断器的安装

1）各部分零件应完整，装配牢固；转轴光滑灵活，铸件无裂纹、砂眼；熔断器安装牢固、排列整齐，熔管轴线与地面垂线夹角 15°～30°。

2）瓷件良好，熔管不能有吸潮膨胀或弯曲现象。

3）10kV 及以下时，各熔断器相间距不小于 500mm，户外安装时不小于 700mm。

4）熔管跌落及操作时灵活，触头接触紧密、可靠，合上熔管时，触头必须有一定的压缩行程。如不灵活，可将熔体下部松开，以手压住，合上后轻轻松手，观察跌落的灵活性。

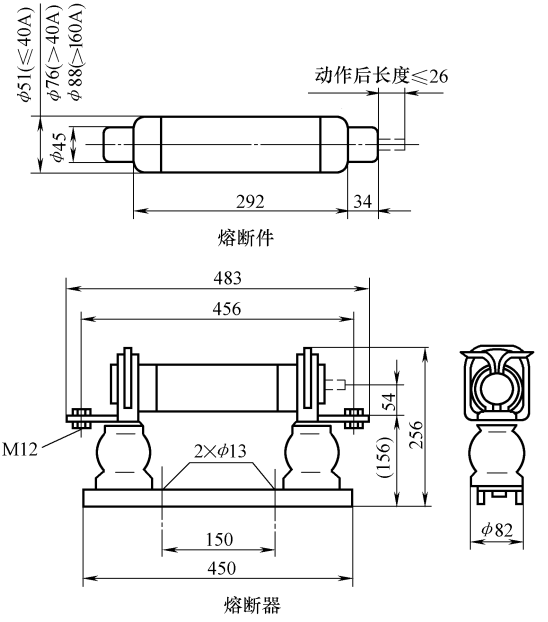


图 2-23　插入式熔断器的外形（2）

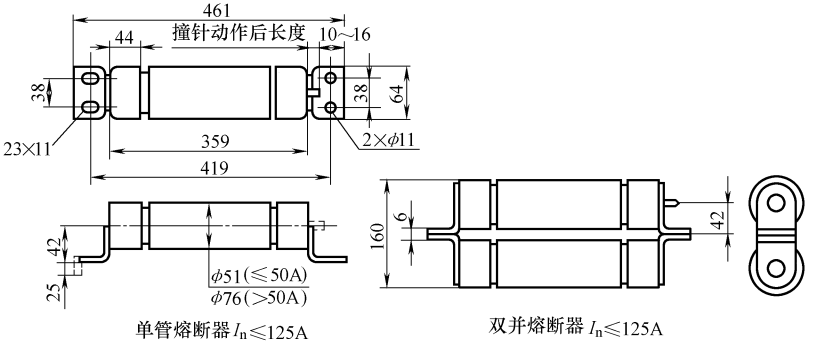


图 2-24　母线式熔断器的外形（2）

5）熔体容量与变压器容量相适应，熔体额定电流为负荷额定电流的 1.5 ~2 倍，绝不能用铜丝或铝丝代替熔丝，熔管内必须有消弧管。

6）上下线压紧，与线路导线连接可靠；安装位置方便操作。

7）熔断器安装在地面高度不小于4m的横担上，如安装在变压器上，与变压器外轮廓间距不小于50mm。

3. 选择与维护

1）型号必须符合环境条件，注意户外与户内式的区别，限流式高压熔断器不能使用在电压低于熔断器额定电压的电网中，跌落式熔断器灭弧时喷出大量游离气体，一般用在室外。

2）熔断器额定电压和电流不小于工作电压和电流，熔管额定电流不小于熔体额定电流。

3）作变压器过负载时，熔断器熔体额定电流应等于或稍微大于变压器的额定电流。

4）作分支线路保护时，熔体额定电流根据负荷的实际电流确定。对不同负载，应按熔断器的保护特性选择。

5）选择熔体时，需考虑并保证两级熔断器之间、熔断器与电源侧继电保护之间、熔断器与负荷侧继电保护动作的选择性，即要保证故障点附近熔断器动作，而不能在故障点附近熔断器未动作，上位先动作。

6）经常检查运行中的熔断器，熔体动作后更换同规格的熔体，但短时间内连续动作3次，必须分析原因。更换熔断器时要切断电源。

7）10kV系统中使用跌落式熔断器，运行时出现接触点温升高，熔体熔断后可能不能自动跌落烧毁熔管，应加强检查。

4. 常见故障与处理

典型10kV熔断器常见故障与处理见表2-31。

表2-31　典型10kV熔断器常见故障与处理

故障	原因	处理
接触点发热	压紧弹簧或螺钉松;接触表面氧化,接触电阻大;熔管长度不当	根据发热情况,降低负荷或停止运行
瓷件损伤或断裂	外力破坏;制造质量不符合要求;合闸力度太大;安装角度不当,拉闸时断裂	停电处理,安装角度不当时,调整角度,符合倾斜20°~25°
瓷件闪络	雷击或操作过电压;环境污染污秽杂质;爬距太小	停电更换过电压击穿的瓷件,及时清理污垢,可选用防污型瓷件
上部与下部接触处喷水,熔丝未断即跌落	熔管长度不确当;合闸不到位;弹簧的弹性消失	停电调整熔管长度,更换弹簧片,重新合闸

（续）

故障	原因	处理
变压器低压侧正常运行时，熔丝断	熔丝选择不不恰当，熔丝质量不符合	停电更换恰当的熔丝，选用符合质量的熔丝，安装时防止损坏

四、高压断路器

1. 型号选择

电力系统正常运行和故障时，其用于断合各种性能的电流，切除电力系统的短路故障，具有灭弧装置。其型号见图 2-25，常用有少油断路器、SF_6 断路器、真空断路器。主要分类与特性见表 2-32。

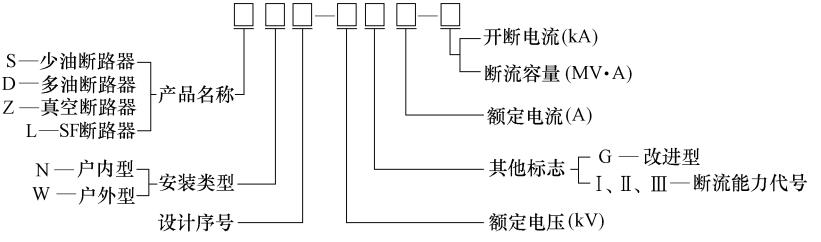


图 2-25　高压断路器型号

表 2-32　高压断路器的主要分类与特性

类别	结构	性能	维护
多油断路器	以油为灭弧介质和绝缘介质，触头系统及灭弧室安装在接地油箱中；结构简单，易于加装单匝型电流互感器和电容分压装置；油耗高、体积大；属自能式灭弧结构	额定电流不大，电压为35kV；开断小电流时，燃弧时间长，开断电路速度慢；油多，可燃，危险；可用于室内室外，受大气影响小	维护简单，噪声低；需配油处理装置
少油断路器	油量少，主要作为灭弧介质；结构简单，可配电磁操动机构、液压操动机构或弹操机构；积木式结构，可制成各种电压等级产品	开断电流大，35kV 以下可加装并联回路，提高额定电流；35kV 以下为积木式结构，全开断时间短；增加压油活塞装置，加强机械油吹后，可开断空载长线	维护简单，噪声低；油量少，易劣化，需配油处理装置

（续）

类别	结构	性能	维护
压缩空气断路器	结构复杂，压缩空气作为灭弧介质、弧隙绝缘介质；操作机构与断路器成为一体，体积小	额定电流和开断电流可做的很大，适宜于开断大容量电路。动作快，时间短	噪声较大，维修周期长，无火灾危险，价格较高。需要压缩空气装置作为气源
SF_6 断路器	结构简单，组装工艺及密封严格，对材料要求高。体积小，重量轻。分为室内落地式与室外敞开式，更多用于 GIS 封闭式组合电源	额定电流与开断电流均可很大，开断性能好，适合于各种工况开断 SF_6 气体灭弧、绝缘性能好，断口电压可做得较高。断口开距小	噪声低、维护量小，检修间隔期长，运行稳定，安全可靠。但价格高
真空断路器	体积小，重量轻，灭弧室工艺及材料要求高，真空作为绝缘介质和灭弧介质，触头不易氧化	可连续多次操作，开断性能好，灭弧迅速，动作时间短，开断电流及断口电压不能做的很高，只能低于 35kV，断路器的真空度低于 10^{-4}mmHg	运行维护简单，灭弧室无须检修，噪声低

（1）ZW6—12 系列户外高压交流真空断路器　50Hz、三相户外高压开关设备，农网和城网 10kV 系统中，作分合负载电流、过载电流及短路电流，其他类似场所作城网 10kV 级分段开关。其技术数据见表 2-33，外形见图 2-26。

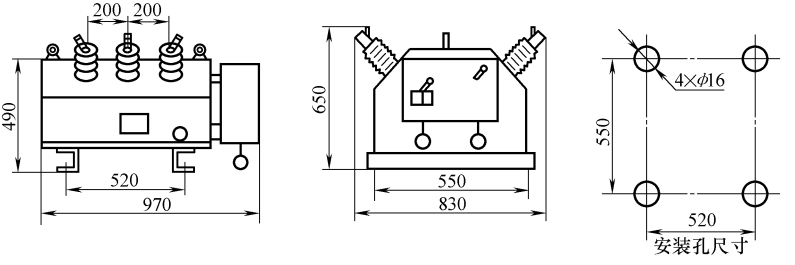


图 2-26　ZW6—12 系列户外高压交流真空断路器的外形

本体由导电电路、绝缘系统及壳体组成，整个导电电路由进出线导电杆、静端支座、导电夹、软连接等与真空灭弧室连接，通过硅橡胶灭弧室套合和硅橡胶绝缘子实现绝缘配合，保证短路器抗凝露和抗污秽，内部绝缘由灭弧室内真空介质实现，整体结构为三相共箱式。分别配手操和电操机构，

手操只有手动储能、手动分合闸和过电流保护功能，电操机构需独立电源，具有电动储能、电动分合闸外，还有手动储能、手动分合闸和过电流保护。整个结构由合闸弹簧、储能系统、过电流脱扣器、分合闸线圈、手动分合闸系统、辅助开关及储能指示等组成。

表 2-33　ZW6—12 系列户外高压交流真空断路器技术数据

<table>
<tr><th colspan="2">项目</th><th>参数</th><th colspan="2">项目</th><th>参数</th></tr>
<tr><td colspan="2">额定电压/kV</td><td>12</td><td colspan="2">额定操作顺序</td><td>分－0.3s －合分－180s－合分</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定电流/A</td><td>630、1 250</td><td colspan="2">额定短路开断电流次数/次</td><td>30</td></tr>
<tr><td rowspan="2">工频耐受电压/kV</td><td>干试</td><td>42</td><td colspan="2">机械寿命/次</td><td>10 000</td></tr>
<tr><td>湿试</td><td>30</td><td colspan="2" rowspan="2">储能电动机额定电压/V</td><td rowspan="3">AC110、AC220</td></tr>
<tr><td colspan="2">雷电冲击耐受电压(峰值)/kV</td><td>75</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定断路开断电流/A</td><td>16、20</td><td rowspan="2">额定操作电压（配 CT23 型操动机构）</td><td>分闸线圈</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">额定短路关合电流(峰值)/A</td><td rowspan="3">40、50</td><td>合闸线圈</td></tr>
<tr><td colspan="2">动静触头允许磨损厚度/mm</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定峰值耐受电流/A</td><td colspan="2" rowspan="2">重量/kg</td><td rowspan="2">170</td></tr>
<tr><td colspan="2">4s 短时耐受电流/A</td><td>16、20</td></tr>
</table>

（2）ZW7—40.5 系列户外高压交流真空断路器　三相 50Hz、40.5kV 户外高压开关设备，配 CT19BW 型操动机构或电磁操动机构。35kV 输配电系统中，作分合负载电流、过载电流及短路电流，可供工矿企业、发电厂及变电站电气设备保护和控制。其技术数据见表 2-34。上下支柱式结构，上绝缘套管为灭弧室套管，内装真空灭弧室，下绝缘套管为支柱套管，三相套管共装在一个结构箱上。灭弧室动端通过拐臂、绝缘拉杆与弹簧机构的输出轴相连。弹操机构及断路器连接的连杆在防水机构箱内。由真空灭弧室、电流互感器、传动机构及弹操机构组成。其外形见图 2-27。

表 2-34　ZW7—40.5 系列户外高压交流真空断路器技术数据

<table>
<tr><th colspan="3">项目</th><th>参数</th></tr>
<tr><td colspan="3">额定电压/kV</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">额定绝缘水平/kV</td><td rowspan="2">额定短时耐受电压</td><td>干试</td><td>95</td></tr>
<tr><td>湿试</td><td>80</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定雷电冲击耐受电压</td><td>185</td></tr>
<tr><td colspan="3">额定频率/Hz</td><td>50</td></tr>
</table>

（续）

项目	参数		
额定电流/A	1 250、1 600	1 250、1 600	1 250、1 600、2 000
额定短时耐受电流/kA	20	25	31.5
额定峰值耐受电流/kA	50	63	80
额定短路开断电流/kA	20	25	31.5
额定短路关合电流/kA	50	63	80
额定短路持续时间/s	4		
额定短路开断电流的直流分量/s	37		
瞬态恢复电压(TRV)峰值/kV	114		
合、分闸装置及辅助电路的额定电源电压/V	DC/AC220		
额定操作顺序	分－0.3s－合分－180s－合分		
分闸时间/ms	≤80		
合闸时间/ms	≤120		
全开段时间/ms	≤100		
额定电缆充电开断电流/A	50		
分级(电寿命、电容电流、机械寿命)	E2－C2－M2(10 000)		
额定短路开断电流开断次数/次	20		

（3）ZW8—40.5 系列户外高压交流真空断路器　户外高压开关设备，50Hz、35kV 三相电力系统中，作分合负载电流、过载电流及短路电流。可配 CD103 型电磁操动机构，CD10 型及 CT17—35 型弹操机构，能取代户外多油断路器，技术数据见表 2-35。总体结构为瓷绝缘子支柱式，三相共装在一个机构箱上，由真空灭弧室、电流互感器、传动机构及操动机构组成。真空灭弧室装在上瓷绝缘子内，在灭弧室与瓷绝缘子间用新型绝缘材料填充。灭弧室动端通过拐臂及绝缘拉杆与操动机构的输出轴相连，机构及与断路器连接的连杆装在防水机构箱内。

在合闸位置，电流通过上出线端子引至真空灭弧室静端及动端，通过软连接及电流互感器出线端子引出；在断路器分、合闸操作中，机构输出轴通过连杆带动绝缘拉杆上、下运动，绝缘拉杆通过拐臂带动导杆运动，使真空灭弧室动端运动，实现分、合闸操作。

电流互感器装在基架内，装配、调整、检修、测量和维护方便。互感器可按需选用，每个互感器带 4 个线圈，2 个测量、2 个保护。互感器规格有 100/5、200/5、400/5、800/5、1 000/5、1 600/5 等。其外形见图 2-28。

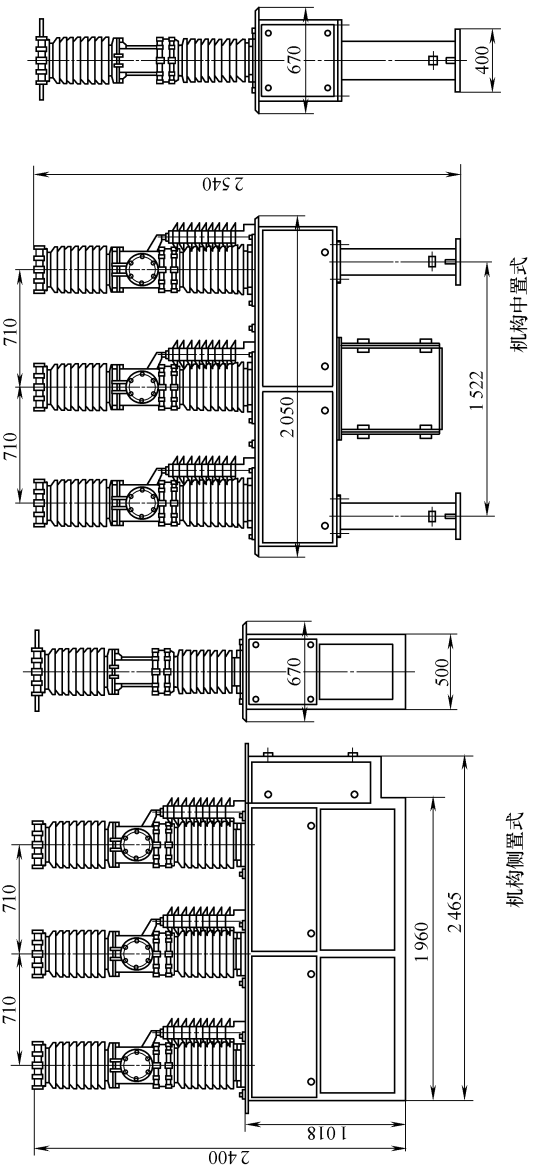


图 2-27　ZW7—40.5 系列户外高压交流真空断路器的外形

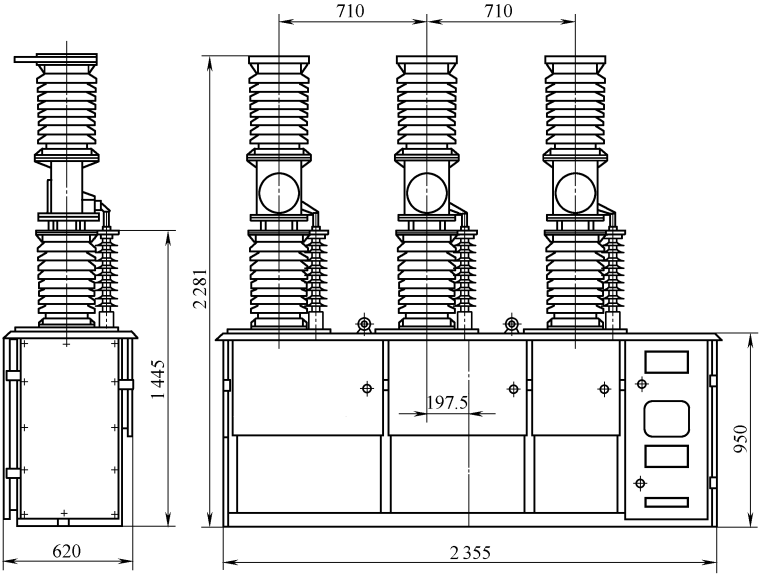


图 2-28　ZW8—40.5 系列户外高压交流真空断路器的外形

表 2-35　ZW8—40.5 系列户外高压交流真空断路器技术数据

项目	技术参数
额定电压/kV	40.5
额定电流/A	1 250,1 600
额定短路开断电流/kA	20,25,31.5
额定短路关合电流(峰值)/kA	63,80
额定操作顺序	分－0.3s－合分－180s 合分
动稳定电流(峰值)/kA	63,80
4s 热稳定电流/kA	20,25,31.5
额定雷电冲击耐受电压(全波)/kV	185
额定短时工频耐受电压(1min)/kV	95
机械寿命/次	6 000,10 000
重量/kg	≈1 300

（4）ZW12—12 型户外高压交流真空断路器　50Hz、三相 12kV 户外高压开关设备，作农网、域网和小型电力系统中，供关合和开断负载电流、过载电流及短路电流。其技术数据见表 2-36。

本体由真空灭弧室、支座、绝缘套管、壳体、电流互感器和操动机构组成，绝缘体套管安装在箱体内，真空灭弧室通过支座由绝缘套管支持，电流互感器套装在真空灭弧室静导电杆上，弹操机构安装在箱体内。整体用有机复合硅橡胶绝缘，“「”式结构。其外形见图 2-29。

表 2-36　ZW12—12 型户外高压交流真空断路器技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	额定峰值耐受电流/kA	31.5、40、50
额定电流/A	630	额定短时耐受电流/kA	12.5、16、20
1min 工频耐受电压/kV	42(干)	额定短路持续时间/s	4
	30(湿)	额定操作顺序	分－0.3s－合分－180s－合分
雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	75	额定短路开短电流开断次数/次	30
额定短路开断电流(有效)/kA	12.5、16、20	机械寿命/次	10 000
		动、静触头允许磨损累计厚度/mm	3
额定短路关合电流(峰值)/kA	31.5、40、50	重量(含操动机构)/kg	126

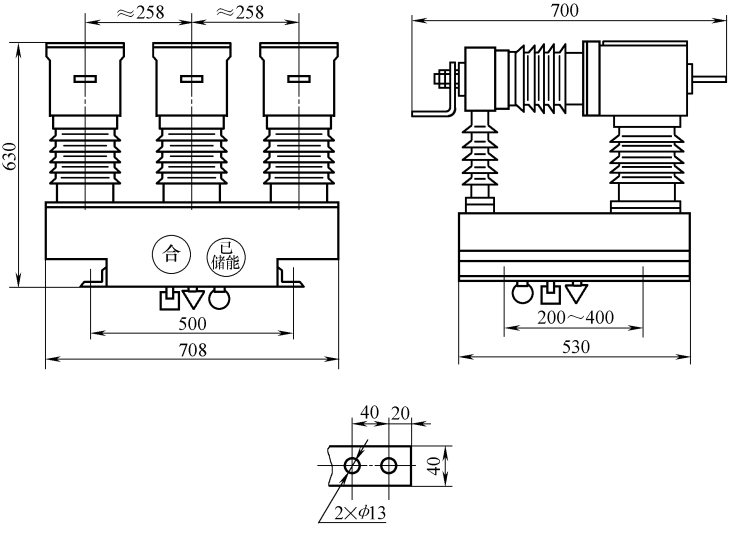


图 2-29　ZW12—12 型户外高压交流真空断路器的外形

（5）ZW32A（B）—12 型户外高压交流真空断路器　采用国外技术，按国内要求设计。12kV、50/60Hz 三相户外配电设备，配电网开断、关合系统中的负载电流、过载电流及短路电流。变电站及配电系统中，作保护和控制，更适宜农网、频繁操作。与智能控制器配合组成智能型开关设备。其耐振动、开断性能好、可靠、结构简单、免维护。其技术数据见表 2-37。

三相支柱式结构，整体绝缘支柱将真空断路器、主导电电路、操作绝缘杆等有机结合，开断性能稳定可靠、无燃烧爆炸危险、免维修、体积小、寿命长。全密封结构，防潮防凝露，适于严寒潮湿地域；用小型弹操机构或永磁操动机构，分闸能耗低；机构传动为主动传输方式，分合闸部件小，可靠性高。操动机构置于密封机构箱内，防锈蚀。

断路器可手操、电操及遥控，与控制器配套实现配电自动化，也可与重合控制器配合组成自动重合器、分段器。断路器可装设两相或三相 CT，供过电流自动脱扣保护和智能控制，还可加装计量 CT。断路器两侧装双隔离刀开关、三相联动，在隔离刀开关分闸时有明显断口，并与断路器防误联锁。

表 2-37　ZW32A（B）—12 型户外高压交流真空断路器技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	12	机械寿命/次	10 000
额定频率/Hz	50	额定短路开断电流开断次数/次	30
额定电流/A	630	1min 工频耐受电压[相间、对地/断口(干)(湿)]/kV	42/49、34/35
额定短路开断电流/kA	20		
额定峰值耐受电流(峰值)/kA	50	雷电冲击耐受电流(峰值)(相间、对地/断口)/kV	75/85
额定短时耐受电流/kA	20		
额定短路关合电流(峰值)/kA	50	二次回路 1min 工频耐受电压/kV	2

（6）ZN12—31.5 系列户内高压交流真空断路器　单相 50Hz、31.5kV 户内高压开关设备，断路器为手车式配手车轨道底座和电流互感器等。适用电气化铁道牵引供电系统 BT 供电制式各种变电所、开闭站、分闭站、分区，符合铁道标准。其技术数据见表 2-38。由滚动移动手车和 L 形手车轨道底座组成，同类型手车部分可互换。其外形见图 2-30。

（7）ZN12—40.5 系列户内高压交流真空断路器　三相 50Hz、40.5kV 户内高压开关设备，作发电厂、变电所等输配电系统控制或保护开关，尤适于开断重要负载及频繁操作。可与各种类型间隔式、铠装式金属封闭开关设备配合使用。弹簧储能式操动机构，可交直流操作。其技术数据见表 2-39。

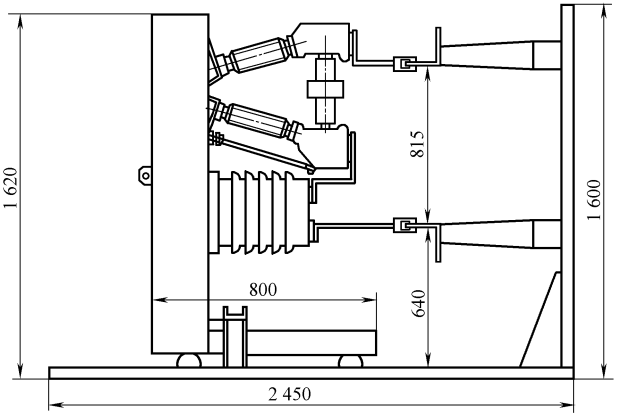


图 2-30　ZN12—31.5 系列户内高压交流真空断路器的外形

表 2-38　ZN12—31.5 系列户内高压交流真空断路器技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	31.5	3s 额定短时耐受电流/kA	25、31.5
额定电流/A	1 250、1 600、2 000、2 500	额定短路关合电流/kA	63、80
额定短路开断电流/kA	25、31.5	额定短路开断电流开断次数/次	30、20
额定峰值耐受电流/kA	63、80	机械寿命/次	10 000

表 2-39　ZN12—40.5 系列户内高压交流真空断路器技术数据

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	40.5	额定短路开断电流开断次数/次	20
额定电流/A	1 250、1 600、2 000	额定频率/Hz	50
额定短路开断电流/kA	25、31.5	1min 工频耐受电压/kV	95
额定短路关合电流(峰值)/kA	63、80	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	185
额定短路耐受电流(4s)/kA	25、31.5	机械寿命/次	10 000
额定峰值耐受电流/kA	63、80		

本体由真空灭弧室、操动机构和支撑部分组成。框架上固定 6 只环氧树脂绝缘子，3 只灭弧室通过铸铝的上、下出线端固定在绝缘子上。下出线端通过软连接与灭弧室动导电杆上的导电夹相连，在动导电杆的底部装有万向

杆端轴承，该轴承通过一轴销与下出线上的拐臂相连，断路器主轴三根绝缘拉杆拉动导电杆，使断路器实现分合匣。其外形见图 2-31。

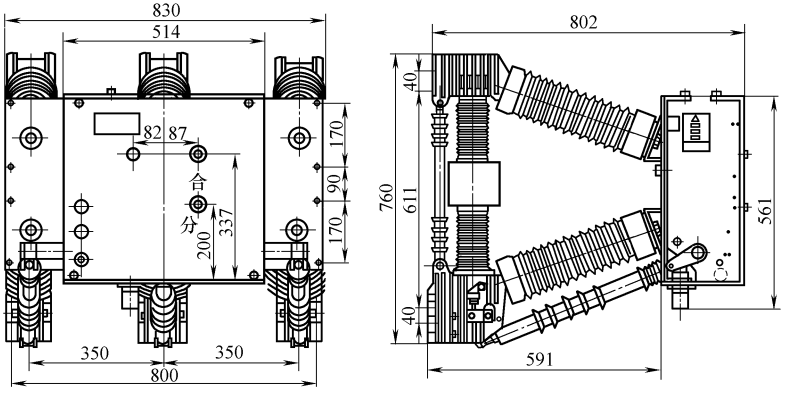


图 2-31　ZN12—40.5 系列户内高压交流真空断路器的外形

（8）ZN21—12 系列户内高压交流真空断路器　三相 50Hz、10kV 电力系统中，作工矿企业、发电厂和变电站的保护和控制，特别适用于无油化场合，免检修，频繁操作。其技术数据见表 2-40。

三相真空灭弧室安装于 U 形槽结构绝缘骨架中，绝缘性能好；永磁机构采用高矫顽力稀土永磁材料，与电磁线圈结合，实现双稳态合分闸控制控制，出力特性与真空断路器负载特性一致，与真空断路器匹配；永磁操动机构的永磁体经过老化及防腐处理，稳定性极强，高温环境可长期稳定工作；机构有合理的工作余量，免维护。其外形及安装尺寸见图 2-32 及表 2-41。

表 2-40　ZN21—12 系列户内高压交流真空断路器技术数据

项目	参数			
额定电压/kV	12			
额定雷电冲击耐受电压峰值/kV	75			
额定短时工频耐受电压(1min)/kV	42			
额定频率/Hz	50			
额定电流/A	630、800、1 250	630、800、1 250	800、1 250、1 600、2 000	1 600、2 500、3 150、4 000
额定单个电容器组开断电流/A	630		800	
额定短路开断电流/kA	20	25	31.5	40
额定短路电流非周期分量/kA	≤35%			
额定短时耐受电流/kA	20	25	31.5	40

（续）

项目	参数			
额定峰值耐受电流/kA	50	63	80	100
额定短路关合电流峰值/kA	50	63	80	100
额定异相短路开断电流/kA	17.4	21.8	27.3	34.6
额定失步开断电流/kA	5	6.3	7.9	10
额定操作顺序	分－0.3s－合分－180s－合分（≤31.5kA）			
	分－180s－合分－180s－合分（≤40kA）			
分闸时间（额定电压）/ms	35～55			
合闸时间（额定电压）/ms	30～50			
机械寿命/次	30 000			
额定短路开断电流开断次数/次	30		50	30
额定电流开断次数/次	10 000			
动、静触头允许磨损累计厚度/mm	3			
额定合闸操作电压（V）/电流（弹操）（A）	AC 220/1.9、AC 110/3.8			
	DC 220/1、DC 110/1.2、DC 48/4.6			
额定合闸操作电压（V）/电流（电操）（A）	DC 220/71、DC 110/142			
额定分闸操作电压/电流	AC 220/1.9、AC 110/3.8			
	DC 220/1、DC 110/1.2、DC 48/3.6			
额定瞬时过电流脱扣动作电流/A	5			
辅助开关额定开断关合电流/A	AC 16，DC 2			
储能电动机额定电压/V	AC 220、AC 110，DC 220、DC 110、DC 48			
储能电动机额定功率/W	80			
储能时间/s	≤11			
二次回路1min工频耐压/V	2 000			

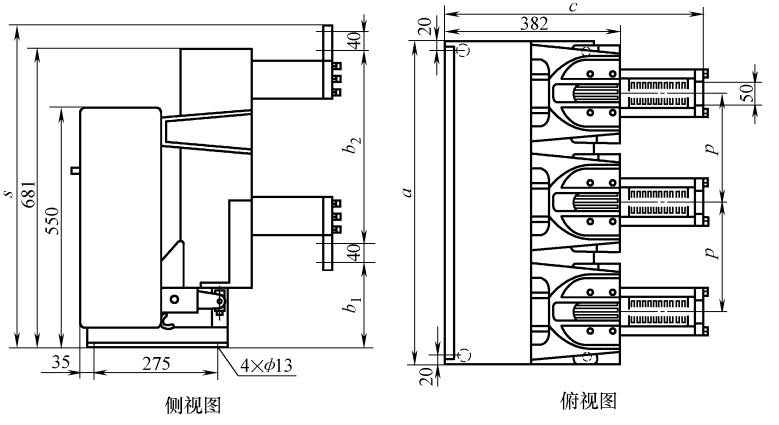


图 2-32　ZN21—12 系列户内高压交流真空断路器的外形

表 2-41　ZN21—12 系列户内高压交流真空断路器的安装尺寸

（单位：mm）

<table>
<tr><th>稳定电流/A</th><th>额定开断电流/kA</th><th>p</th><th>a</th><th>b_1</th><th>b_2</th><th>c</th><th>s</th></tr>
<tr><td>≤800</td><td>20/25/31.5</td><td rowspan="3">210</td><td rowspan="3">580</td><td rowspan="6">280</td><td rowspan="3">315</td><td rowspan="3">484</td><td>—</td></tr>
<tr><td>1 250</td><td>120/25/31.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>1 600</td><td>31.5</td><td>—</td></tr>
<tr><td>1 600</td><td>40</td><td>200</td><td rowspan="3">335</td><td rowspan="3">496</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2 000</td><td>31.5</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">740</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2 500</td><td rowspan="3">40</td><td>—</td></tr>
<tr><td>3 150</td><td>199</td><td>442</td><td>562</td><td>741</td></tr>
<tr><td>4 000</td><td>275</td><td>790</td><td>203</td><td>444</td><td>715</td><td>747</td></tr>
</table>

（9）ZN21A—12 系列户内高压交流真空断路器　三相 50H_Z、10kV 电力系统中，作企业、电厂和变电所输配电系统的保护与控制。其技术数据见表 2-42。封闭绝缘，主绝缘筒加内外裙边，爬电比距符合标准。

整体式弹操机构，机械特性优良，底盘手车灵巧，滚动式轨道严谨，机械联锁装置防误操作。全绝缘防护设计，配置瓷质真空灭弧室。可作手车式断路器、固定式断路器。配套有隔离手车、电压互感器手车、避雷器手车等。其外形见图 2-33。

表 2-42　ZN21A—12 系列户内高压交流真空断路器技术数据

<table>
<tr><th colspan="2">项目</th><th colspan="4">参数</th></tr>
<tr><td colspan="2">额定电压/kV</td><td colspan="4">12</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定频率/Hz</td><td colspan="4">50(60)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">绝缘水平</td><td>1min 工作耐受电压/kV</td><td colspan="4">42</td></tr>
<tr><td>雷电冲击耐受电压(全波)/kV</td><td colspan="4">75</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定电流/A</td><td>630、1 250</td><td>630、1 250、1 600</td><td>1 250、1 600、2 000、2 500</td><td>3 150</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定短路开断电流/kA</td><td>20～25</td><td>31.5</td><td>40</td><td>40/50</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定峰值耐受电流/kA</td><td>50/63</td><td>80</td><td>100</td><td>100/125</td></tr>
<tr><td colspan="2">4s 短时耐受电流/kA</td><td>20/25</td><td>31.5</td><td>40</td><td>40/50</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定短路电流开断次数/次</td><td colspan="2">50</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td colspan="2">机械寿命/次</td><td colspan="4">20 000</td></tr>
<tr><td colspan="2">1 250A/31.5kA 开合电容组试验/A</td><td colspan="4">单个电容器组开合 630A，背靠背 400A</td></tr>
<tr><td colspan="2">合闸时间/s</td><td colspan="4">≤0.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">分闸时间/s</td><td colspan="4">≤0.05</td></tr>
<tr><td colspan="2">储能电动机额定输入功率(W)/储能时间(s)</td><td colspan="4">75/10</td></tr>
</table>

（续）

项目	参数
额定分合闸操作电压/电流	AC 220/1、AC 110/2，DC 220/0.77、DC 110/1.55
灭弧室类型	玻璃泡或瓷泡
主触臂触头类型	梅花式
额定操作顺序	分－0.3s－合分－180s－合分（≤31.5kA）、 分－180s－合分－180s－合分（≤40kA）

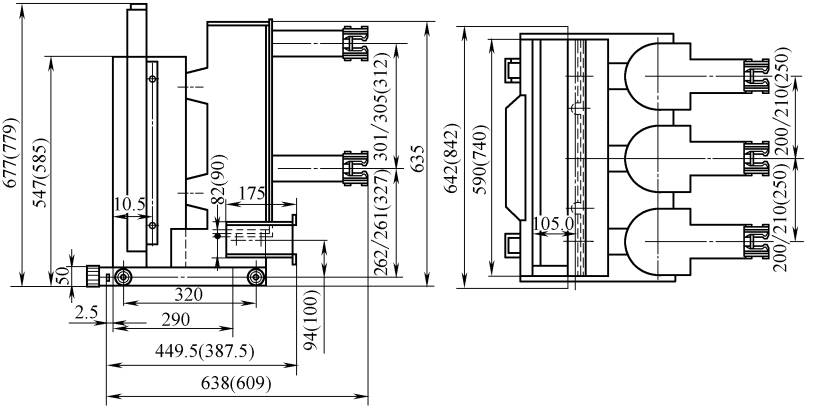


图 2-33　ZN21A—12 系列户内高压交流真空断路器的外形

注：括号内尺寸为（2 000～3 150）A～（31.5～40）kA 断路器的尺寸。

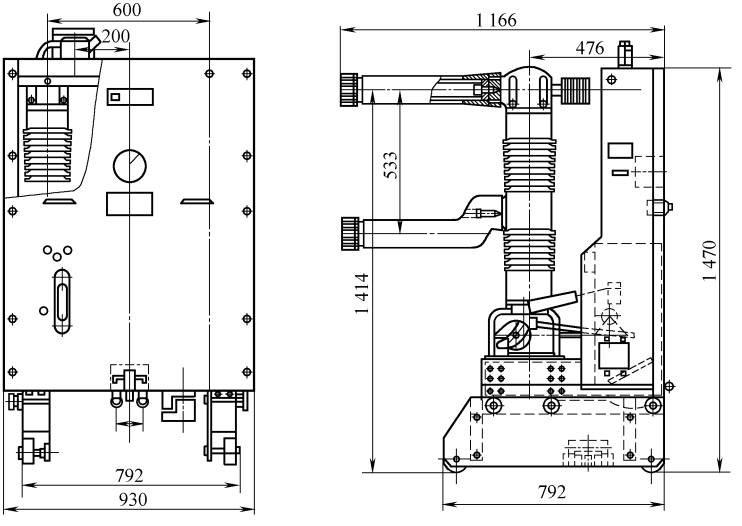
（10）LN2—12、40.5 系列户内高压交流 SF_6 断路器　50Hz、三相户内装置，作企业、发电厂及变电所保护与控制，宜频繁操作。其技术数据见表 2-43。灭弧室用旋弧＋压气原理，可靠开断电流，动静触头磨损小。外绝缘用整体压注环氧树脂绝缘筒，绝缘性能好、强度高，SF_6 气体内绝缘。选 CT12 型弹操机构，电动机交直流两用，寿命长、可靠性高。用 MKZ—1 密度控制器监视 SF_6，温度自动补偿，气体压力不随环境温度变化。可配 JYN1—40.5、KYN72—40.5 移开式开关设备等；也可固定式安装。其外形见图 2-34。

表 2-43　LN2—12、40.5 系列户内高压交流 SF_6 断路器技术数据

项目		参数	
额定电压/kV		12	40.5
额定绝缘水平	1min 工频耐压/kV	42	95
	雷电冲击耐受电压（峰值）/kV	75	185

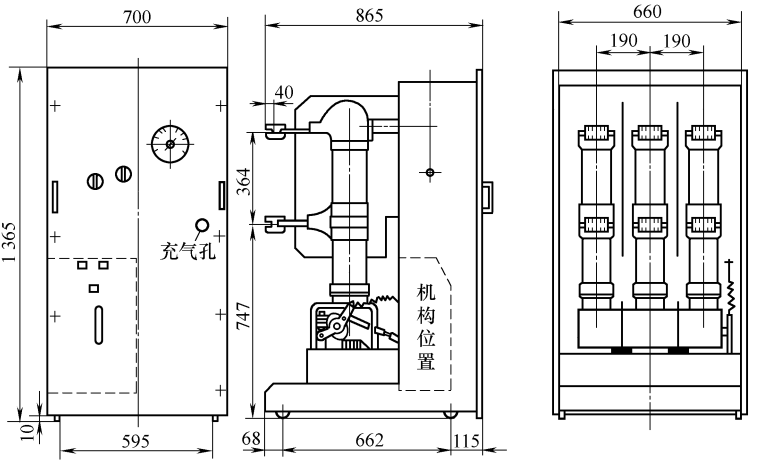
（续）

项目		参数	
额定电流/A		1 250	1 600
额定短路开断电流/kA		31.5	25
额定短路关合电流(峰值)/kA		80	63
额定峰值耐受电流/kA		80	63
额定短时耐受电流/kA		31.5	25
额定短路持续时间/s		4	4
机械寿命/次		10 000	10 000
六氯化硫额定电压	表压(20℃)/MPa	0.55	0.65
闭锁压力		0.50	0.59
补气压力		0.50	
年漏气气率(%)		≤1	
水分含量(体积分数)(%)		$\leq 150 \times 10^{-4}$	
额定操作电压/V		DC/AC220、110V	
额定分、合闸电流/A		CT12 产品数据	
额定操作顺序		分－0.3s－合分－180s－合分	



LN2—40.5型

图 2-34　LN2—12、40.5 系列户内高压交流 SF_6 断路器的外形



LN2—12型

图 2-34　LN2—12、40.5 系列户内高压交流 SF_6 断路器的外形（续）

（11）LW3—12 系列户外高压交流 SF_6断路器　三相 50Hz 户外高压电器设备，用于中小型变电站 10kV 侧出口断路器或主开关，也适于单台电压 12kV 高压电器设备的控制和保护。Ⅰ型配电动机储能弹操机构，Ⅱ型配手操。Ⅰ、Ⅱ型断路器可配隔离开关。隔离开关额定电流不大于 630A。其技术数据见表 2-44。

表 2-44　LW3—12 系列户外高压交流 SF_6断路器技术数据

项目			参数
额定电压/kV			12
额定电流/A			400、600
额定绝缘水平(20℃时，0.25MPa SF_6气压)	1min 工频耐受电压/kV	干试	42
		湿试	34
	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV		75
额定短路开断电流/kA			6.3、8、12.5、16
额定短路关合电流(峰值)/kA			16、20、31.5、40
额定峰值耐受电流/kA			
4s 短时耐受电流/kA			6.3、8、12.5、16
额定操作顺序	Ⅰ型电动弹操机构		分－180s－合分－180s－合分
	Ⅱ型电动弹操机构		分－0.5s－合分－180s－合分

（续）

项目		参数
零表压下绝缘水平（20℃时，SF_6气压为0MPa）	1min 工频耐受电压/kV	30
	1min 反相耐受电压/kV	30
	5min 最高相电压/kV	9
零表压下开断电流/A		630
额定 SF_6气压工作压力/MPa		0.35（20℃时）
最低 SF_6气压工作压力/MPa		0.25（20℃时）
断路器中 SF_6气体年漏气率（%）		≤1
出厂时断路器中 SF_6气体含水量（体积分数）（%）		$\leq 150\times10^{-4}$
额定短路开断电流次数/次		30
机械寿命/次		3 000
储能电动机额定电压/V		AC/DC220
操动机构操作电压/V		
断路器总重量/kg		135
过电流脱扣器额定电流/A		5

三相共箱式结构，三相横穿于圆形箱体，通过瓷套固定在箱体上，断路器和机构为整体结构，通过主轴直接相连。由外壳、瓷套、电流互感器、灭弧室、吸附剂、瓶盖和机构等组成。箱体用优质钢材焊接，精加工、密封，防高温、耐潮湿与凝露。其外形见图2-35。

（12）LW3A—12系列户外高压交流 SF_6断路器　高压三相50Hz户外高压开关，作12kV分支线路、中小变电站10kV侧出口断路器或主开关，也用于控制和保护单台12kV高压电路器设备。其技术数据见表2-45。

表2-45　LW3A—12系列户外高压交流 SF_6断路器技术数据

项目		参数			
额定电压/kV		12			
额定绝缘水平（当断路器所充 SF_6气体为0.25MPa、20℃时）	雷电冲击耐受电压/kV	75			
	1min 工频耐受电压/kV	42			
	淋雨耐受电压/kV	31			
	反相冲击耐受电压/kV	85			
零压表下的绝缘水平（当断路器所充 SF_6气体为0MPa、20℃时）	1min 工频耐受电压/kV	30			
	1min 反相耐受电压/kV	30			
	5min 最高耐受电压/kV	9			
额定电流/A		200、400、630			
额定短路开断电流/kA		6.3	8	12.5	16
异相接地重合闸开断电流/kA		5.5	7.1	10.9	13.9
零压表下开断电流/A		200、400、630			
额定短路开断电流开断次数/次		30			

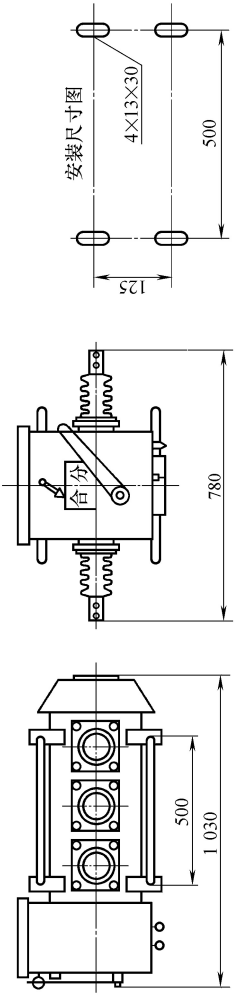


图 2-35　LW3—12 系列户外高压交流 SF_6 断路器的外形

本体为三相共相式结构，由断路器本体和操动机构组成，内充 SF_6 气体。可配 PT，使其具有自备电源，为电操和自动化控制提供电源，可配无线遥控操作。配置电流控制器，防止合闸涌流跳闸和对短时过电流延时。还可配有源（或无源）一次自动重合闸控制器，能自动识别分断性质，决定是否重合闸操作。适用于远离变电站（所），或在不便于配备电操的场所，减少非永久性故障停电时间，自储能功能在重合闸成功后自动对操作弹簧储能，为下次重合闸做准备。其外形见图 2-36。

（13）LW8—40.5 型户外高压交流 SF_6 断路器　三相 50Hz 户外高压电气设备，配 CT14 型弹操机构，作 35kV 输配电系统控制和保护；开断能力强、安全可靠、可频繁操作、少维护；也可用于联络断路器及开合电容器组，其技术数据见表 2-46。

平行传动方式，配 CT14 弹操机构，三相分立落地罐式结构，有压气式灭弧室，三相气体通过铜管连接。由出线套管、电流互感器、灭弧室、外壳、吸附器、传动箱、连杆、底架及弹操等组成。SF_6 气体灭弧和绝缘介质。灭弧室为单压气式结构，轴向同步双吹弧原理，断路器充 0.45 MPa 表压 SF_6 气体，分闸过程中可动压气缸对静止活塞做相对运动，压缩气缸内 SF_6 气体，与压气缸外气体形成压力差，高压力 SF_6 气流通过喷口产生强烈吹弧效应，迫使电弧在过零时熄灭。

断路器可装 12 只套管式电流互感器。每相断口两侧各装 2 只，铸铝外壳与灭弧室外壳相连，绕组置于 SF_6 气体中，导电杆为一次电路，二次电路出线通过密封良好的接线板引至外部。接线板及引至机构箱的连接线由罩壳及钢管保护，防止直接与大气接触。电流互感器的选择范围按 100～2 000/5A 选择。其外形见图 2-37。

2. 真空断路器的安装

（1）安装要求

① 不存在影响工作的油面，可垂直安装或倾斜安装。

② 清洁绝缘子，机械传动的摩擦面应涂润滑油；检查灭弧室应正常，如发现屏蔽罩被氧化、变色，必须及时更换。

③ 拧紧紧固螺钉，重点检查导体回路的软连接部分是否可靠，多操作几次，不出现卡阻现象。

④ 对断路器三相灭弧室做工频实验，42kV 电压 1min，检查灭弧室的真空度符合要求，耐压不合格不能使用。如耐压小于 38kV，说明灭弧室漏气；检查触头行程开距，按照产品检查。

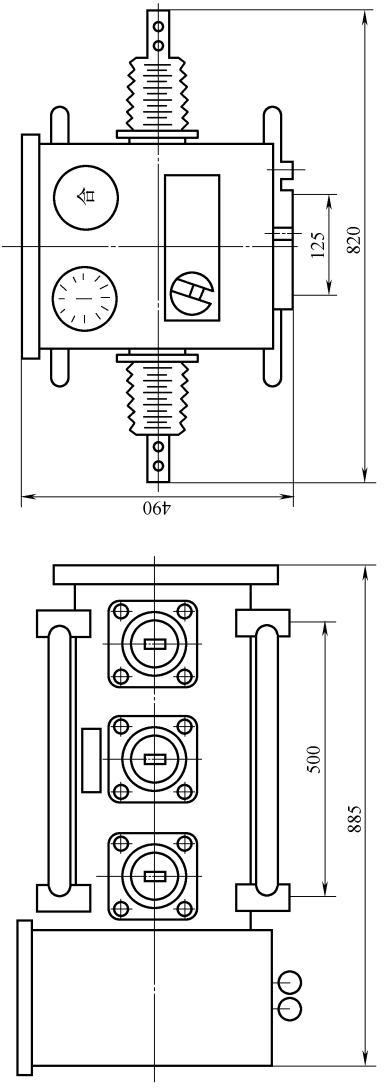


图 2-36　LW3A—12 系列户外高压交流 SF_6 断路器的外形

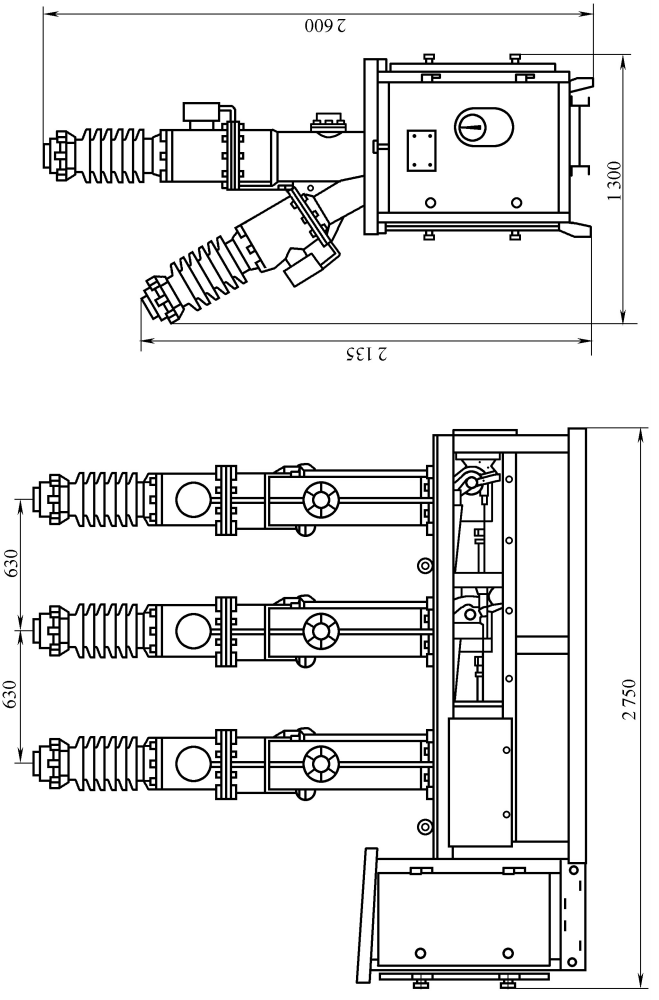


图 2-37　LW8—40.5 户外高压交流 SF_6 断路器的外形

表 2-46 LW8—40.5 型户外高压交流 SF_6 断路器技术数据

项目			参数
额定电压/kV			40.5
额定绝缘水平（闭锁压力）	1min 工频耐受电压（有效值）/kV	干试	95
		湿试	85
	雷电冲击耐受电压（峰值）/kV		185
额定频率/Hz			50
额定电流/A			2 000
额定短路开断电流/kA			31.5
额定短路关合电流/kA			80
额定短时耐受电流/kA			31.5
额定峰值耐受电流/kA			80
额定短路持续时间/s			4
额定失步开断电流/kA			7.9
额定开合单个电容器组电流/A			400
额定短路开断电流开断次数/次			20
额定操作顺序			分-0.3s-合分-180s-合分
分闸时间/ms			≤70.0
合闸时间/ms			≤100.0
SF_6 气体额定电压（20℃）/MPa			0.45
SF_6 气体报警电压（20℃）/MPa			0.42
SF_6 气体闭锁电压（20℃）/MPa			0.40
SF_6 气体年漏气率（%）			≤1
SF_6 气体水分含量（%）	验收值		150×10^{-4}
	运行值		300×10^{-4}
机械寿命/次			3 000
充入 SF_6 气体重量/kg			8
断路器重量/kg			1 400

⑤ 安装后认真检查，特别注意带电部位与柜体的安全距离，必须符合标准。

（2）灭弧室的安装

① 安装前，用酒精或绸布将外壳、导电杆擦干净。

② 装入真空灭弧室后，参照技术条件相关规定进行调整，安装过程中不允许用硬物敲打管子外壳，防止破裂漏气。

③ 不可反复拆卸真空灭弧室，防止连接螺孔滑扣；灭弧室在安装、调整及使用中，不能过分压缩、拉开波纹管，可能影响其使用寿命。注意，安装中施加在灭弧室两端面的力应符合产品说明要求。

④ 应保证灭弧室导电杆的同轴度，或与顶端端面的垂直度。

3. 日常检查

① 检查有无异常响声和气味。

② 检查触头电磨损量。观察超行程指示器，判断触头的磨损量；当超行程不符合要求时，应重新调整触头，确保触头的接触压力，否则影响使用寿命。

③ 检查真空灭弧室是否破损。玻璃泡应清晰，如发现屏蔽罩氧化、变色，则屏蔽罩存在漏气，立即更换并检查触头接触情况。

④ 观察真空管断路器分闸情况，分闸时弧光为蓝色，说明正常，当出现橙红色时，则真空度下降，应及时检修或更换真空灭弧室。

⑤ 检查辅助开关的接触是否良好；定期清扫真空灭弧室，尤其要清除吸附在导电部分和绝缘子上的灰尘。

⑥ 检查二次电路的接地线应牢固，检查并紧固各固定螺栓，定期测量每相电路的电阻值。

⑦ 检查断路器操动机构分、合闸部分的磨损情况，如异常及时修理；检查操动机构的活动部分，定期加润滑油。

⑧ 在巡回检查发现有异常现象时、动作次数达到了技术条件规定的寿命时、分合短路事故电流后，应将真空断路器退出运行，并做临时检查。

4. 真空断路器常见故障与处理（见表 2-47）

表 2-47　真空断路器常见故障与处理

故障	原因	处理
电动机构不能合闸	铁心与柱杆松动	卸下铁心，调整铁心位置，用手可以合闸；合闸后，掣子与滚轮应有 1～2mm 的间隙
合空闸	掣子扣合距离太小，未过死点	将调整螺钉向外调，掣子过死点；完毕后，将螺钉紧固，并用色漆点封
电动机构不能脱扣	掣子扣的太多	将螺钉内调，紧固螺母
	分闸线圈接线松脱	重新接线
	操作电压太低	调整电压
分合闸线圈烧坏	辅助开关触头接触不良	砂纸打磨触头或更换
	辅助开关触头动作不可靠	在分合闸线圈并联 1 个时间继电器
合闸时灭弧室弧光为橙红色	灭弧室真空度下降	检修或更换灭弧室

（续）

故障	原因	处理
合闸时灭弧室的弧光为紫色或白色	灭弧室漏气	更换灭弧室
操作过电压	操作感性负荷，断路器限过电压装置不恰当或失灵	采取措施，释放过电压

5. SF_6断路器的安装

① 安装前仔细核对型号、规格、性能等符合要求，观察表压在0.35MPa左右；搬运时瓷套管不能受力。

② 开关压力表应朝便于观察的方向，开关安装位置便于维护与操作；安装前对LW3—10 Ⅰ型配手动弹簧储能机构，需手动分合闸几次；对Ⅱ型配电动弹簧储能机构，应通电操作几次，灵活无卡阻。接线时不可随意扳接线端子，正常运行时接线端子不受外力作用。安装完毕后，外壳可靠接地。

③ 一般断路器配有10kV套管式电流互感器，接线时必须分清进出线侧。

④ 手动分闸合闸时，如拉不动分（合）闸环，不能再用力，此时要观察操动机构上的分合闸指针位置，再分合闸操作。

⑤ 安装完成后，清除灰层和异物，仔细检查接线正确，投入运行。

6. SF_6断路器的日常检查与维护

① 检查无异常声响、无特殊臭味；端子部分无过热、变色现象。

② 检查分合闸指示及信号显示正常，绝缘端子无龟裂、无污染，外壳、底座等无锈蚀和损坏。

③ 检查压力表指示、气体压缩机的动作仪表指示情况；检查漏气情况，即压缩空气系统无漏气声，当表压力小于0.25MPa（20℃）时，应及时补充到0.35MPa（20℃）以上；检查油压系统无漏油；检查排水情况。

④ 定期除尘，每年对外壳锈蚀部分刷漆1次；定期检查断路器各个传动部分，应当灵活、啮合部位添加润滑油。

7. SF_6断路器常见故障与处理（见表2-48）

表2-48 SF_6断路器常见故障与处理

故障	原因	处理
绝缘电阻小于4MΩ	内部受潮，气体形成凝露；吸附剂失效	①适当调整压力和加热温度，保证内部气体露点小于0℃ ②检查密封件，更换已老化的密封件 ③更换失效的吸附剂，一般5年更换一次

（续）

故障	原因	处理
漏气	密封差,密封圈失效	查找漏气部位,更换失效的密封圈,重新充 SF_6 气体
不能正常合分闸	合闸储能弹簧和分闸弹簧的能量不适当;凸轮转过中心位置偏角不适合	调整弹簧储能机构;调整凸轮偏角
爆炸	断路器内部的 SF_6 气体受潮	可将单面轴封改为双面轴封;充气及修理严格按照规程。对受潮的断路器,应清除旧 SF_6 气体,对新断路器,用活性氧化铝及充 SF_6 气体的胶管充分干燥,保证气体纯度

第二节　高压成套电气设备

一、概述

1. 分类

（1）按结构分类

① 铠装式：用 K 表示，断路器、电源侧进线母线、馈电线路电缆接线处、继电器等都安放在有接地的金属隔板相互隔开的小室内，如 KYN 型和 KGN 型。

② 间隔式：用 J 表示，某些组件分设于单独的隔室内，与铠装式一样，但有 1 个或多个非金属隔板，防护等级为 IP2X ~ IP5X，如 JYN 型。

③ 箱式：用 X 表示，除上述两种以外的金属封闭式高压开关柜。隔室数量少于铠装式和间隔式或不分隔室，一般只有金属封闭的外壳，如 XGN 型。

间隔式和铠装式均有隔室，间隔式的隔室采用绝缘板，铠装式的隔室采用金属板。金属板可将故障电弧限制在隔室内，若电弧接触到金属隔板，可通过接地母线引入大地。间隔式电弧可能烧穿绝缘隔板，进入其他隔室或柜子，后果严重。箱式柜结构简单、尺寸小，但安全性、运行可靠性不高。

（2）按元件固定特点分类

① 固定式：用 G 表示，柜内电器元件固定安装，结构简单，成本低。

② 移开式：用 Y 表示，又称为手车式，柜内断路器、电压互感器、避雷器等安装在可移开的小车上，小车中电气设备与柜内电路通过插入式触头

连接。根据功能分为断路器小车、电压互感器小车、隔离小车和计量小车等。移开式开关柜检修方便，恢复供电时间短。

移开式开关柜分落地式和中置式（Z），前者本体落地，在地面上推入或拉出，如图 2-38 所示的 KYN12—10 型高压开关柜；后者小车于柜子中部，小车装卸需专用装载车，如图 2-39 所示的 GZS1—12 型开关柜。中置式小车在门封闭时推拉，操作安全；柜体下部空间大，电缆安装检修方便，还可安置电压互感器和避雷器等。目前移开式高压开关柜大多采用中置式。

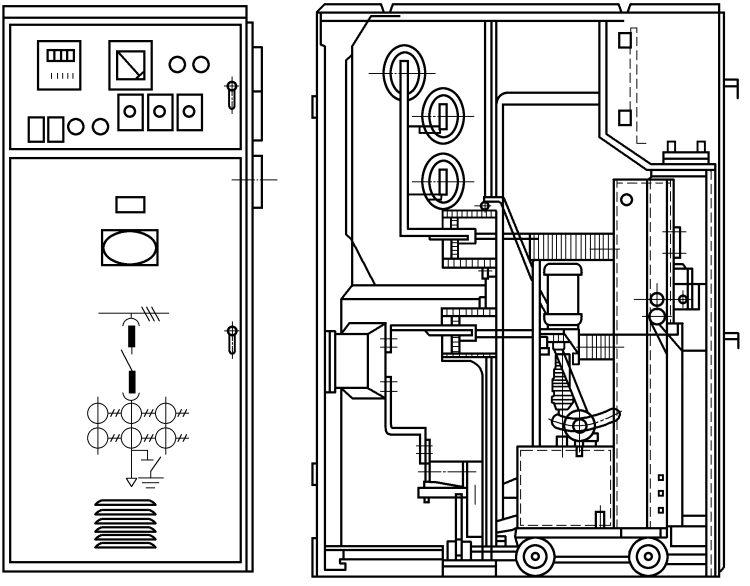


图 2-38　KYN12—10 型高压开关柜

（3）按母线组数分类　分为单母线式和双母线式。6～35kV 开关柜基本是单母线柜。为提高可靠性，6～35kV 供配电系统主接线可用双母线或单母线带旁路母线，开关柜中有两组主母线，母线室空间较大。

（4）按主电器元件种类分类

① 通用型高压开关柜：空气绝缘，主电器元件为断路器，即断路器柜。

② F-C 回路开关柜：主电器元件用高压限流熔断器－高压接触器组合电器。

③ 环网柜：主电器元件用负荷开关或负荷开关－熔断器组合电器，常

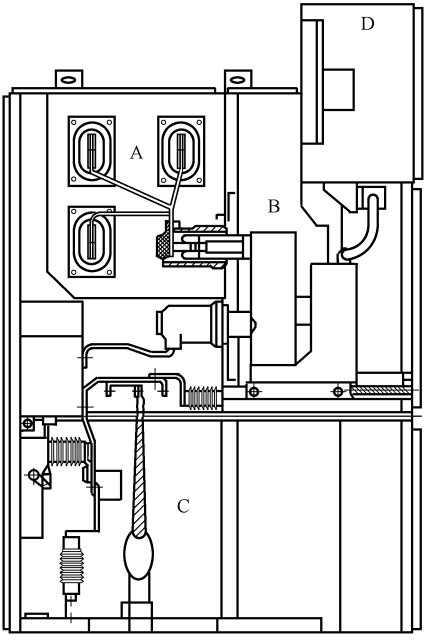


图 2-39　GZS1—12 型高压开关柜

A—母线室　B—手车室　C—电缆室　D—继电器仪表室

用于环网供电系统。

（5）按安装场所分类　分为户内式和户外式。户外式开关柜要求封闭、防水渗透、防尘。

（6）按柜内主绝缘介质分类　分为大气绝缘柜和气体绝缘柜。前者因受大气绝缘性能限制，占地面积和空间大。现采用 SF_6 气体作为绝缘的全封闭式金属封闭开关设备。其中 12 ~ 40. 5kV 的 SF_6 气体绝缘金属封闭开关设备采用柜形箱式结构，简称为充气式开关柜。

2. 型号

高压开关柜的型号如下：

□ □ □ □ — □ — □ □ □

| | | | | | | | |

1　2　3　4　5　6　7　8

第 1 个□，高压开关柜类型，K—铠装式，J—间隔式，X—箱式；第 2

个□，型式特征，G—固定式，Y—移开式（Z 表示中置式）；第 3 个□，安装场所，N—户内式，W—户外式；第 4 个□，设计序号，由 1 ~ 3 位数字或字母组成；第 5 个□，额定电压，单位 kV，可在这一位后括号中说明主开关的类型，如 Z 为真空断路器，F 为负荷开关；第 6 个□，主电路方案编号；第 7 个□，断路器操动机构，D—电磁式，T—弹簧式；第 8 个□，环境代号，TH—湿热带，TA—干热带，G—高海拔，Q—全工况。

如 KYN1-12 高压开关柜就是铠装式小车户内柜，额定电压为 12kV。常见国产高压开关柜的部分产品型号，见表 2-49。

表 2-49　常见国产高压开关柜的部分产品型号

类型	主要型号
通用柜、铠装式、移开式	KYN1—12，KYN2—12（VC），KYN6—12（WKC），KYN23—12（Z），KYN18A—12（Z），KYN18B—12（Z），KYN18C—12（Z），KYN19—10，KYN27—12（Z），KYN28A—12，KYN18B—12，KYN54—12（VE），KYN29A—12（Z），KYN55—12（PV 双层），KYN10—40.5，KYN41—40.5，GZS1—12（S—森源电气系统）
通用柜、间隔式、移开式	JYN2—12，JYN2D—12，JYN6—12，JYN7—12，JYN □—27.5，JYN1—40.5
通用柜、铠装式、固定式	KGN□—12
通用柜、箱式、固定式	XGN2—12，XGN15—12，XGN66—12，XGN17—40.5，XGN□—40.5，XGN12—24，XGN2—12Q（Z）（Q—全工况型）
F—C 柜	KYN1—12，JYN2—12，KYN3—12，KYN3C—12，KYN8—7.2，KYN14—7.2，KYN19—12，KYN23—12（Z），KYN24—7.2，8BK30
环网柜	HXGN—12，XGN18—12（ZS8），HXGN2—12，HXGX6—12，HXGN15—12，XGN35—12（F），XGN35—12（FR）

3. 主要参数

其主要技术参数有：额定电压、额定绝缘水平（用 1min 工频耐受电压（有效值）和雷电冲击耐受电压（峰值）表示）、额定功率、额定电流、柜内母线的最大工作电流、额定短时耐受电流、柜内母线及主电路的热稳定电流、额定短路持续时间（通常为 4s）、额定峰值耐受电流（指柜内母线及主电路的动稳定电流）和防护等级。KYN12—12 型高压开关柜技术数据，见表 2-50。

表 2-50　KYN12—12 型高压开关柜技术数据

项目		参数		
额定电压/kV		3.6	7.2	12
额定绝缘电压/kV	1min 工频耐受电压(有效值)	42	42	42
	雷电冲击耐受电压(峰值)	75	75	75
额定频率/Hz		50		
额定电流/A		630,1 000	1 250,1 600	2 000,3 000,3 150
额定短时耐受电流(1s,rms)/kA		20,31.5	31.5,40	40
额定峰值耐受电流(0.1s)/kA		50	50,80	100
防护等级		IP4X(柜门打开时为 IP2X)		

4. 基本结构

(1) 固定式高压开关柜　如产品 XGN—12 户内箱型固定式高压开关柜，为金属封闭箱型结构，柜体骨架用角钢焊接而成，柜内分断路器室、母线室、电缆室和继电器仪表室。室与室间用钢板隔开。真空断路器下接线端子与电流互感器连接，电流互感器与下隔离开关的接线端子连接。断路器上端子与上隔离开关的端子相连接。断路器室设有压力释放通道，若产生内部故障电弧，气体通过排气通道将压力释放。

(2) 移开式高压开关柜　如产品 KYN28A—12 为铠装移开式高压开关柜结构，手车是中置式。手车室内安装轨道和导向装置，供手车推进和拉出。在一次电路静触头前端装活门机构，保障安全。手车载柜体内有工作位置、试验位置和断开位置。手车中装有接地装置，能与柜体接地导体可靠连接。手车室底盘上装有丝杠螺母推进机构、联锁机构等。丝杠螺母推进机构可轻便地使手车在“断开”、“试验”和“工作”之间移动，联锁机构保证手车及其他部件操作必须按规程操作。

(3) 主要组成部件

① 功能单元：包括共同完成一种功能的所有主电路及其他电路的元件，有进线单元、馈线单元等。

② 外壳：在规定防护等级下，保护内部设备不受外界影响，防止人体和物体接近带电部分和触及运动部分。

③ 隔室：用主要元件命名，如断路器隔室、母线隔室等，隔室之间互相连接的开孔，采用套管或类似方式封闭。还有充气隔室，用于充气式高压开关柜的隔室型式。

④ 元件：主回路和接地电路完成规定功能的主要组成部分，如断路器、负荷开关、接触器、隔离开关、接地开关、熔断器、互感器、套管、母线等。

⑤ 隔板：将一个隔室与另一个隔室隔开。

二、典型电路

1. 主电路方案类别

主电路又称为一次线路，根据电力和供配电系统的实际需要确定，每种型号主电路方案有几十种到上百种，还设计有多种非标准主电路方案。

① 进出线柜：用于高压受电和配电。

② 联络柜：用于变电站单母线分段主接线系统的分段柜或母联柜、柜与柜之间相互连接的联络柜等。

③ 电压测量柜：装有电压互感器，接线方案有 V/V 形、Y_0/Y_0形、Y_0/Y_0/开口三角形等；可进行电压测量和绝缘监视。

④ 避雷器柜：用于防止雷电过电压。

⑤ 所用变柜：安装如 30kV · A、50kV · A、80kV · A 的干式变压器及高、低压开关，用于变电所（站）自用电系统的供电。

⑥ 计量柜：用于计量电能消耗量。

⑦ 隔离柜：主元件仅为隔离开关（固定柜）或隔离小车（手车柜），用于检修时隔离电源。

⑧ 接地手车柜：有接地小车的移开式开关柜，当推入接地小车时，将线路或设备接地。

⑨ 电容器柜：装有 6.3kV 或 10.5kV 的电容器，用于高压电动机等高压用电设备的分散就地无功补偿。

⑩ 高压电动机控制柜：在高压电动机现场，用于高压电动机的配电与起动、停止。

2. 进出线与柜间连接方式

（1）母线连接　柜上部空间母线（柜顶母线）是主母线，贯通各开关柜，构成变电站的系统母线。相邻柜间的连接可用柜下部母线（或称为柜底母线），有的开关柜柜顶母线并不与柜内电气回路连接，仅为过渡母线，用于贯通主母线。图 2-40a 开关柜主电路方案，柜顶母线并不与柜底母线及电缆进出线连接。

（2）电缆进出线　电缆进出线及电缆均安装在开关柜的电缆室中。

（3）架空线路进出线　图 2-40b ~ 图 2-40d 用架空线路进出线。其中图 2-40b 没有柜顶母线，如作进线柜，则通过架空进线受电，通过柜底母线左右联络。如用作出线柜，则由左右联络的开关柜从系统主母线受电，通过架空线馈电。

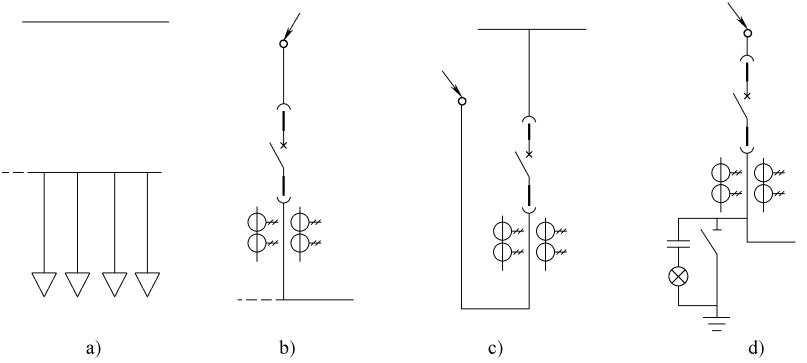


图 2-40　高压开关柜进出线方案

三、典型高压开关柜

（一）HXGN21—12 型环网柜

1. 基本特点

负荷开关柜、负荷开关—熔断器组合电器柜组合常用于环网供电系统，称为环网柜或环网供电单元，如 HXGN21—12 产品，一个环网供电单元至少由 3 个间隔组成，即 2 个环缆进出间隔和 1 个变压器回路间隔，见图 2-41。环网供电单元结构有整体型和组合式。

（1）整体型　将 3 或 4 个间隔装在 1 个柜体中，体积小，不利于扩建改造。

（2）组合式　由几台环网柜组合在一起，体积大，可加装计量、分段

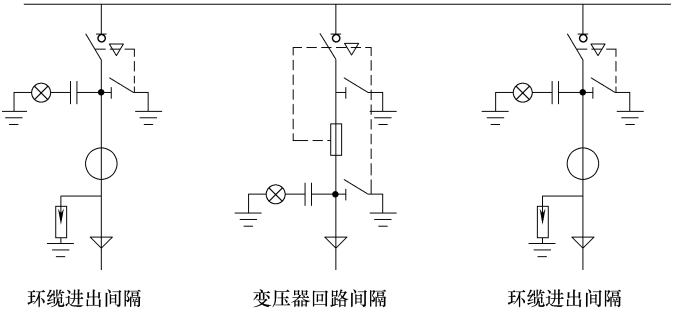


图 2-41　环网供电系统

等小型柜，便于扩建改造。最简化的环网高压配电设备由 3 个间隔组成，即 2 个环缆进出间隔（负荷开关柜）、1 个变压器回路间隔（负荷开关 – 熔断器组合电器柜）。

按柜内主绝缘介质分为空气绝缘柜和 SF_6 绝缘柜。前者为普通封闭式开关柜，空气绝缘，主开关用产气式、压气式、SF_6 和真空负荷开关；后者是密封柜，柜内充有 0.03 ~ 0.05MPa 的干燥 SF_6 气体为绝缘介质，主开关用真空或 SF_6 气体负荷开关，SF_6 气体负荷开关常见。

负荷开关有正装和侧装，产气式和压气式负荷开关常为侧装；真空负荷开关通常为柜内正面安装，均为正面操作。柜中主要电器元件包括带隔离的负荷开关、接地开关（或三工位负荷开关）、熔断器、电流互感器、避雷器、高压带电显示装置等。隔离开关、负荷开关、接地开关与柜门之间有可靠机械联锁，进线侧常设有电磁锁，强制闭锁。HXGN21—12 箱型固定式交流金属封闭环网开关设备（环网柜）的型号见图 2-42，适用于 12kV 、50Hz 的环网供电系统，双电源辐射供电系统及单电源配电中作变压器、电容器、电缆、架空线等电力设备的控制和保护，也可在箱变中用作高压配电部分。

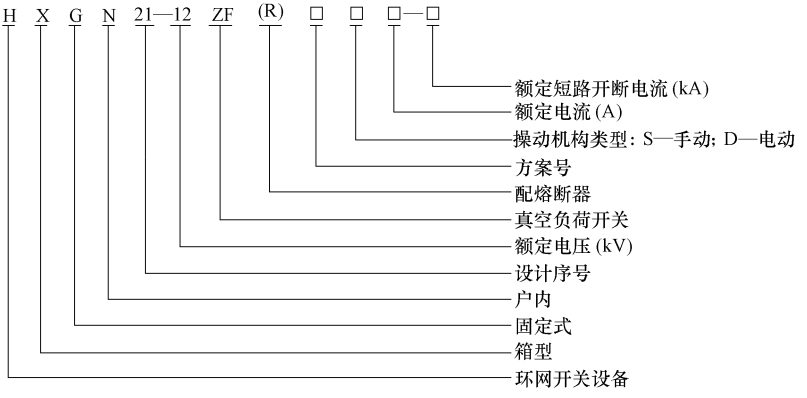


图 2-42　HXGN21—12 箱型固定式交流金属封闭环网开关设备的型号

2. 结构

负荷开关断开位置时，用绝缘隔板，上部为母线室和仪表室，下部为负荷开关、电缆室，还可装电流互感器或电压互感器。柜内主要元件有负荷开关、负荷开关 – 熔断器组合电器、电流互感器、电压互感器、避雷器、电容器、高压带电显示器等。仪表室可装设电压表、电流表、换向开关、指示器

及操作元件。仪表室底部端子板上可装设二次电路的端子排、柜内照明灯及熔断器等。计量柜仪表室可增装有功电能表、无功电能表、电力定量器等。负荷开关、接地开关、柜门之间设有联锁装置，见图 2-43。

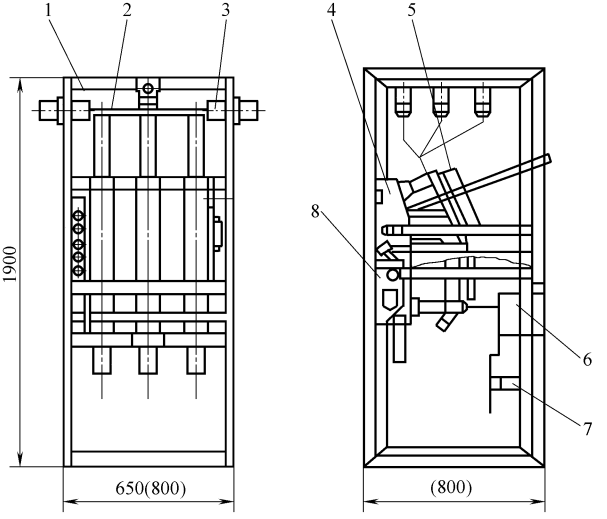


图 2-43　环网柜结构示意图

1—柜体　2—母线　3—套管　4—组合电器　5—熔断器

6—电流互感器　7—带电显示装置　8—操动机构

3. 技术数据（见表 2-51）

表 2-51　HXGN21—12 型环网柜技术数据

项目		参数
额定电压/kV		12
额定电流/A		630
主母线电流/A	进线柜	
	出线柜	125
额定短时耐受电流(4s)/kA		25
额定峰值耐受电流/kA		63
额定短路关合电流/kA		63
额定短路开断电流/kA		25
额定闭环开断电流/kA		630
额定电缆充电电流/kA		25

（续）

项目		参数
接地开关额定短时耐受电流/kA		25
接地开关额定短路持续时间/s		4(2)
接地开关额定峰值耐受电流/kA		63
接地开关额定短路关合电流/kA		63
1min 额定工频耐受电压/kV	相间、相对地、真空负荷开关断口	42
	隔离开关断口	48
额定雷电冲击耐受电压/kV	相间、相对地、真空负荷开关断口	75
	隔离开关断口	82
机械寿命/次	真空负荷开关	10 000
	接地开关、隔离开关	2 000
额定转移电流/A		3 150

（二）XGN18—12 型 SF_6 负荷开关环网柜

1. 技术特点

以 SF_6 负荷开关为主开关、箱型固定式高压开关柜，适于 3～10kV 电力系统的室内变电站或箱式变电站内安装，主要电气参数见表 2-52。

表 2-52　XGN18—12 型开关柜的主要电气参数

项目	参数
额定电压/kV	12
1min 工频耐受电压/kV	相间及相对地 42，断口 48
雷电冲击耐受电压/kV	相间及相对地 75，断口 85
额定短路分断电流/kA	20
开断空载变压器电流/A	16
开断空载电缆电流/A	25
额定短时耐受电流/kA	25(1s)，20(3s)
额定闭环开断电流/A	630
5% 额定负荷开断电流/A	31.5
额定负荷开断电流/A	630
主开关及接地开关短时峰值耐受电流/kA	50
主开关及接地开关额定短时耐受电流/kA	20(3s)
防护等级	IP3X

2. 结构

开关柜尺寸为（375～750）mm×1 600mm（或1 800mm）×840mm。电缆从正面接线，所有控制功能元件在正面操作板。开关柜由柜体、SF_6 负荷开关、监控与保护单元三部分组成。SF_6 负荷开关柜分成五个间隔。

① 开关间隔：负荷开关或隔离开关、接地开关被密封在充满 SF_6 气体的室内，“封闭压力”符合标准。

② 母线间隔：各母线在同一水平面上，柜体可向两侧扩展，柜体间连接简便，额定电流为 630 ~ 1 250A。

③ 接线间隔：正面接线，易与开关、接地开关端子相连，该间隔在熔断器下侧带 1 台接地开关，用作变压器保护。

④ 操动机构间隔：安装操动机构，执行合闸、分闸、接地操作，并指示相应的操作位置，也可安装电操机构。

⑤ 控制保护间隔：该间隔装有低压熔断器、继电保护装置、接线端子排等，若间隔容积不够，可在柜顶附加 1 个低压间。

SF_6 负荷开关的结构见图 2-44，三相旋转触头装入充有 SF_6 气体、相对压力 0.4Mbar（$1bar = 10^5 Pa$）的室内，SF_6 气体作绝缘和灭弧介质。当动静触头分离时，电弧在永磁场中绕静触头旋转，电弧拉长并靠 SF_6 气体使其在电流过零时熄灭。电寿命长、触头免维护、操作过电压低、操作安全。SF_6 负荷开关有“闭合”、“断开”、“接地”位置见图 2-45，有闭锁功能，防误操作。弹簧储能机构驱动触头转动，不受人为因素影响。发生事故时，过电压的 SF_6 气体冲破安全隔膜后压力下降，气体直接喷向柜体后部，保证安全。

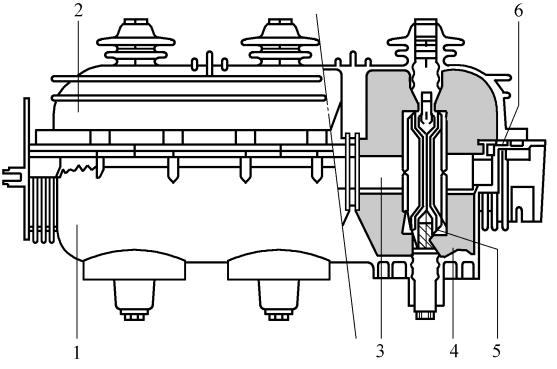


图 2-44　SF_6 负荷开关的结构

（三）KYN28A—12 型开关柜

1. 技术特点

三相 50Hz 、3.6 ~ 12kV、单母线及单母线分段系统的成套配电装置，

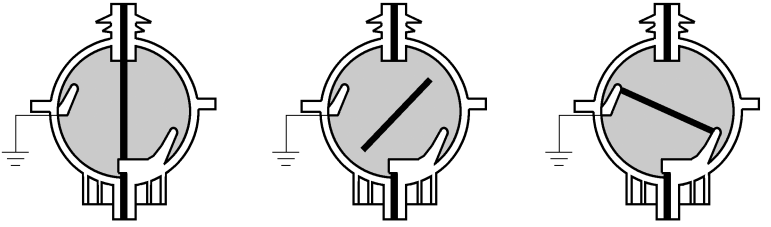


图 2-45　负荷开关的三个工位

主要用于中小型发电机组送电、用电单位配电、电力系统的二次变电所受电、送电和大型高压电动机的起动等。符合 GB 3906—2006，由柜体和中置式可抽出部件组成。外壳防护等级 IP4X、各小室间 IP2X。柜内有各种联锁装置，满足“五防”要求。可从正面安装调试和维护，可背靠背组成双重排列和靠墙安装，安全、灵活。其技术数据见表 2-53。

表 2-53　KYN28A—12 型开关柜技术数据

项目		参数
额定电压/kV		3.6、7.2、12
额定绝缘水平/kV	工频耐受电压(1min)	42
	雷电冲击耐受电压	75
额定频率/Hz		50
主母线额定电流/A		630、1 250、1 600、2 000、2 500、3 150、4 000
分支母线额定电流/A		
额定短时耐受电流(3s)/kA		16、20、25、31.5、40、50
额定峰值耐受电流/kA		40、50、63、80、100、125
防护等级		外壳 IP4X,隔室间、断路器室门打开时 IP2X

2. 结构特点

（1）柜体　铠装式金属封闭结构，由柜体和可抽出部件（中置式手车）组成，分为手车室、主母线室、电缆室、继电器仪表室。柜体外壳防护等级 IP4X。各隔室间及断路器室门打开时 IP2X。有架空进出线、电缆进出线及其他方案，经排列、组合后能成为各种方案的配电装置。

（2）手车及推进机构　有断路器手车、电压互感器手车、计量手车及隔离手车等。同类型手车互换性好。手车在柜内有“工作”和“试验”位置。柜门关闭时，手车也可在两个位置之间移动操作，轻便、灵活。

（3）隔室　除继电器室外，其他三隔室分别设泄压排气通道和泄压窗。

（4）防误操作联锁装置　满足“五防”要求，仪表室门上有信号指示或编码插座，防止误合、误分断路器；手车在试验或工作位置时，断路器才可以合分操作；仅当接地开关在分闸状态时，断路器手车才可从试验与断开位置移至工作位置或从工作位置移至试验与断开位置，防止带接地线误合断路器；当断路器手车处于试验与断开位置时，接地开关才可合闸操作；接地开关处于分闸位置时，下门（及后门）无法打开，防止误入带电间隔。

（四）KYN61—40.5 型移开式开关柜

1. 技术特点

适于三相 50Hz 、40.5kV 单母线分段电力系统，作发电厂、变电所、用电单位、高层建筑接受和分配电能，并对电路控制、保护和监测，满足 IEC 60298、GB 3906—2006、DL/T404—2007 等，具备“五防”功能，由柜体和断路器手车组成。柜体分断路器室、母线室、电缆室和继电器仪表室，外壳防护等级 IP4X，断路器门打开时 IP2X。具有电缆进出线、架空进出线、联络、计量、隔离及其他方案。其技术数据见表 2-54，型号见图 2-46。

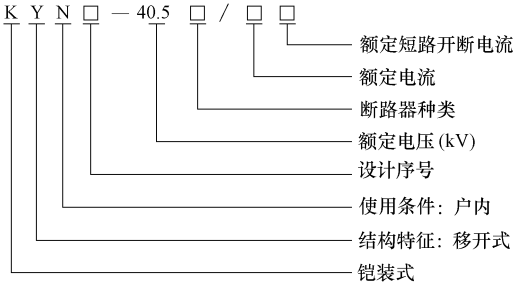


图 2-46　KYN61—40.5 型移开式开关柜的型号

表 2-54　KYN61—40.5 型开关柜技术数据

项目		参数	
额定电压/kV		40.5	
额定频率/Hz		50	
主母线额定电流/A		1 250、1 600、2 000	
支母线额定电流/A		630、1 250、1 600	
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压(有效值)/kV	相间、相对地	一次隔离断口
		95	115
	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	185	215
	辅助控制电路 1min 工频耐受电压/V	2 000	

（续）

项目	参数
额定短路开断电流/kA	25、31.5
额定短路关合电流(峰值)/kA	63、80
额定短时耐受电流(4s)/kA	25、31.5
额定峰值耐受电流/kA	63、80
辅助控制回路额定电压/V	DC 110、DC 220、AC 220
外形(宽×深×高)/mm	1 400×2 800(3 000)×2 600
重量/kg	2 300
防护等级	外壳 IP4X;隔室间、断路器室门打开时 IP2X

2. 结构

本体分为柜体和手车两部分，柜体内配用新型全绝缘真空断路器或 SF_6 断路器。接线方案为分继电器仪表室、手车室、电缆室和母线室，各部分以接地的金属隔板分隔，阻止电弧延伸。在电缆室里装有电流互感器、接地开关等，大空间便于多根电缆连接。触头盒前装有金属活门，上下活门在手车从断开与试验位置运动到工作位置过程中自动打开，当手车反方向运动时自动关闭，有效隔离。

（五）铠装固定式户内交流金属封闭开关设备

1. KGN4—12 型铠装固定式

适于三相50Hz、12kV 户内配电系统，作接受和分配网络电能，对电路控制、保护和监测。符合 GB 3906—2006、DL/T 404—2007、IEC 62271—200，具备“五防”功能，技术数据见表2-55。全组装结构，隔离开关为手操或电操。当采用双断路器并联方案时，主电路额定电流不大于6 300A。柜体分为断路器室、隔离开关室、母线室、电缆室和仪表室，两主母线室有独立的泄压通道，性能安全可靠、使用方便、操作简单、额定容量大。配 ZN65A、ZN12、ZN28 和3AH 系列真空断路器。其外形尺寸见图2-47，一次线路方案见图2-48。

2. KGN5—12 型铠装固定式

3～10kV、单母线、50Hz 户内成套配电装置，作一般接收、联络和分配电能的户内开关柜。可配高开断能力和低截流值的 VA1（ZN63）型真空断路器，或 ABB 的 VD4 型真空断路器作主开关，结构先进、合理、紧凑，“五防”联锁，满足 IEC298、GB 3906—2006 等。其技术数据见表2-56。开关柜被接地金属隔板分为互相隔离的上（主母线和母线侧隔离开关）、中（真空断路器）、下（线路侧隔离开关）隔室。可配真空断路器和操动机构一体的 ZN12、ZN28E 等断路器，也可配分体式真空断路器，分体式断路器

时可用 CT8、CT17、CT19、CD10 等操动机构。有可靠的机构闭锁装置，具有“五防”功能，断路器与隔离开关间设机械联锁，防止带负载分、合隔离开关；上下门与隔离开关操动机构间设机械联锁，防止误入带电间隔；断路器操作手柄装有红、绿翻牌，防止误分、误合断路器；下门内设接地装置，防止带电挂接地线，同时防止带接地线合开关。一次线路方案见图 2-49，额定电压为 3.6kV、7.2kV 和 12kV，外形尺寸见图 2-50。

表 2-55　KGN4—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目		参数	项目	参数
额定电压/kV		12	额定短时耐受电流(4s)/kV	≤63
额定频率/Hz		50	额定短路开关电流/kV	≤160
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压/kV	42/48	额定峰值耐受电压/kV	≤160
	雷电冲击耐受电压/kV	75/85	主母线额定电流/A	≤6 300
额定电压/A		≤4 000	防护等级	IP3X
额定短路开关电流/kV		≤63	外形尺寸/mm	1 400×2 460×3 300

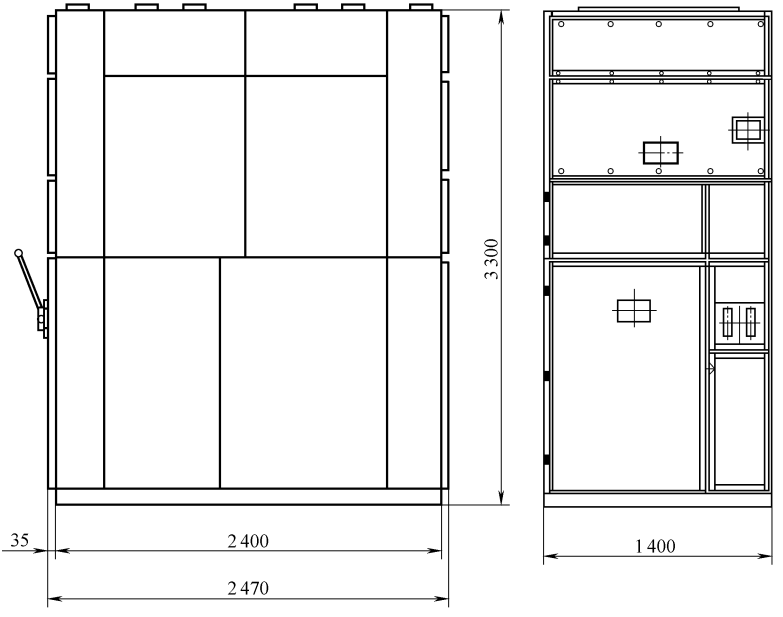


图 2-47　KGN4—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

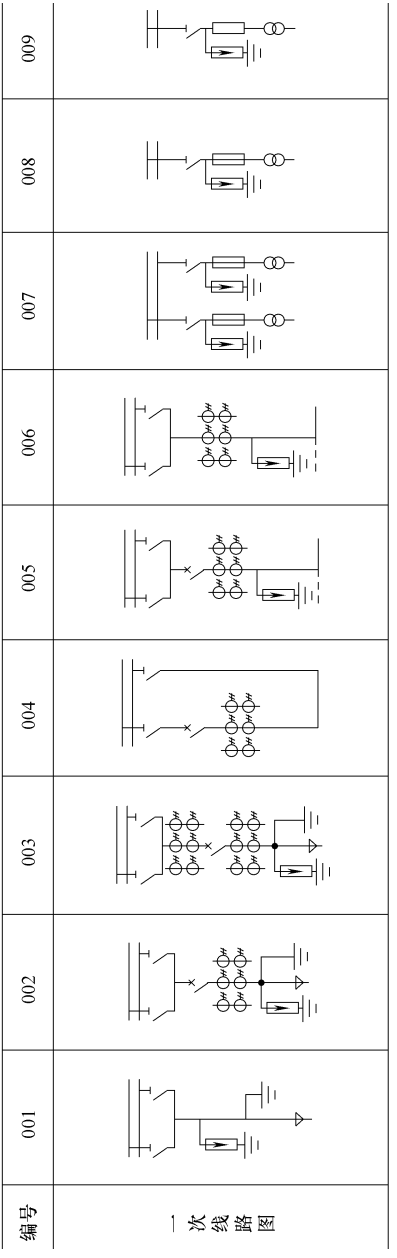


图 2-48　KGN4—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

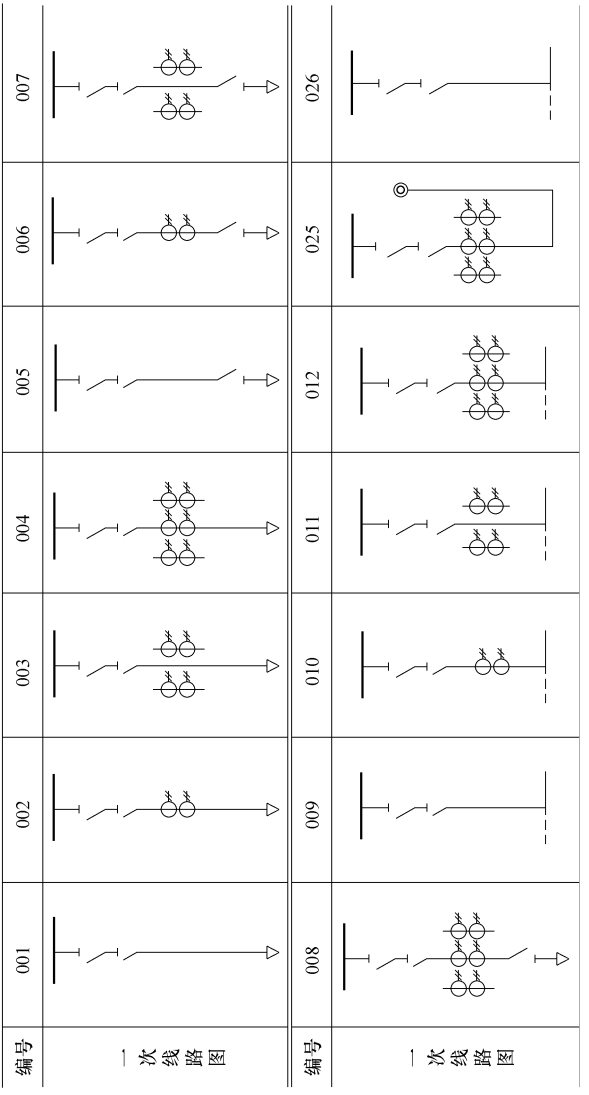


图 2-49　KGN5—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备一次电路方案

编号	027	028	053	054	055	067	068
一次线路图							

编号	075	094	095	101	115	116	117
一次线路图				6个电路			

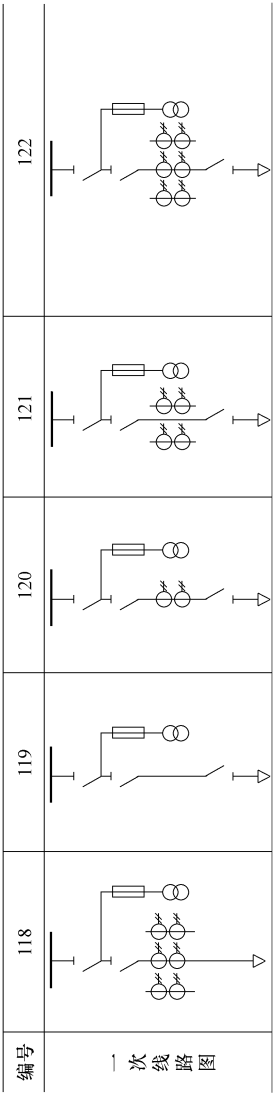


图 2-49　KGN5—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备一次电路方案（续）

表 2-56　KGN5—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目	参数	项目		参数
额定频率/Hz	50	额定开断电流/kA		31.5
额定电压/kV	10	1min 工频耐受电压/kV	对地	42
额定电流/A	630/2 000		隔离断口间	48
额定主母线电流/A	3 150	雷电冲击耐受电压/kV	对地	75
额定热稳定电流/kA	31.5		隔离断口间	85
额定动稳定电流(峰值)/kA		外形尺寸/mm		2 600×1 100×1 200 2 200×1 100×1 500
额定热稳定时间/s	4			

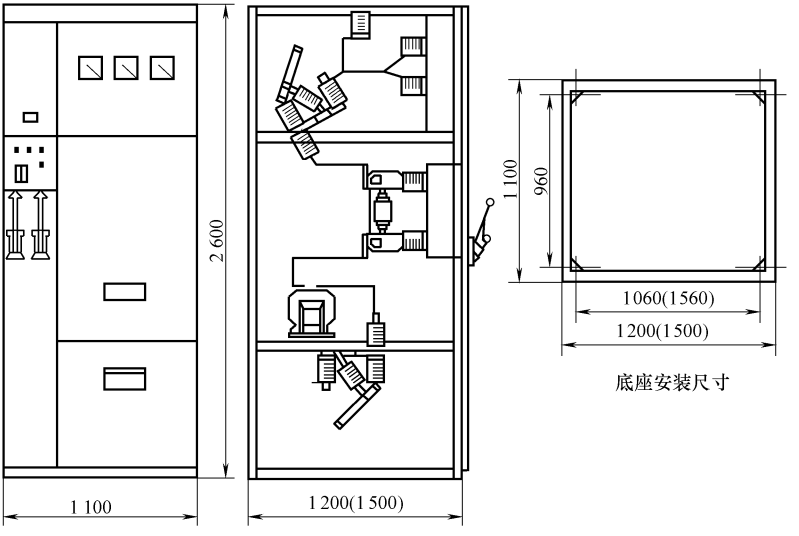


图 2-50　KGN5—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

3. KGN7—12 系列铠装固定式

满足城网、石化和钢厂等大型变电站，属高技术参数、高可靠性、高性

能（$I_n \geqslant 4\ 000A$，$I_b > 63kA$）的开关设备。户内 12kV、三相交流、50Hz 单母线及双母线系统成套配电装置。用作 KYN28A、KYN18C 等系列开关柜的进线和母联柜。其技术数据见表 2-57。双母线高压开关设备，最大工作电流6 300A，额定短路开断电流 63kA。金属铠装柜体，各隔室完全分隔，关键部件用非导磁材料，防止大电流产生磁场而引起金属发热。“五防”联锁，可加装微机或电器闭锁，保证设备操作人员安全。

隔离开关操动机构单元化结构，安装简单，调整方便，操作省力。可配 ZN28Z、ZN65A、ZN63A 和 3AH3、VD4 等多种真空断路器，工作电流4 000 A 以上为固定式、2 000A 及以下既可手车式又可固定式。

手车操作均可在柜门关闭时，固定柜在柜门关闭时断路器可紧急分闸操作。外壳防护等级 IP3X。一次线路方案见图 2-51，外形尺寸见图 2-52。

表 2-57　KGN7—12 系列铠装固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

名称			参数		
额定电流/A			630、1 250、1 600、2 000、3 150	4 000、6 300	4 000
额定电压/kV			12		
额定频率/Hz			50		
额定峰值耐受电流/kA			50、63、100、130	130、176	100、130、176
额定短时耐受电流/kA			20、25、31.5、40	50、63	40、50、63
额定热稳定时间/s			4		
额定绝缘水平	额定冲击耐受电压(峰值)/kV	相对地、相间	75		
		隔离断口	85		
	1min 工频耐受电压(有效值)/kV	相对地、相间	42		
		隔离断口	48		
辅助控制电路/N		额定电压	DC 110、DC 220、AC 110、AC 220		
		1min 工频耐受电压	2 000		

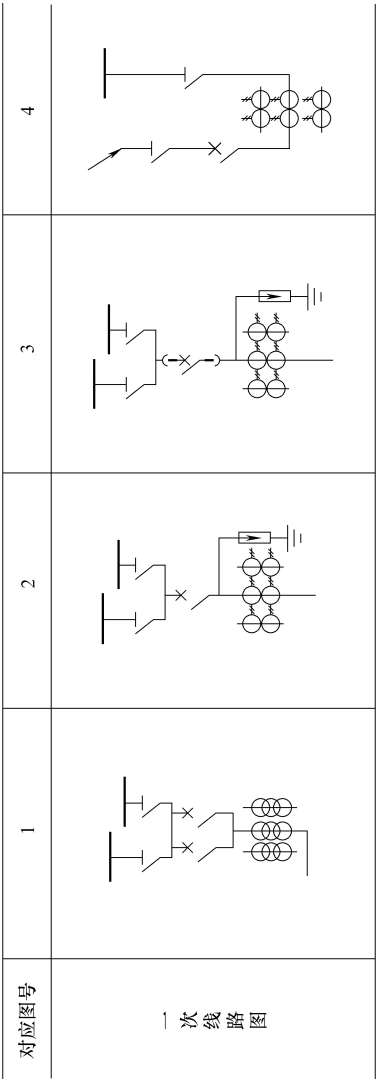
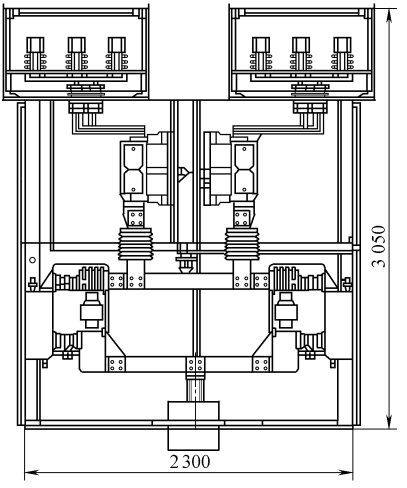
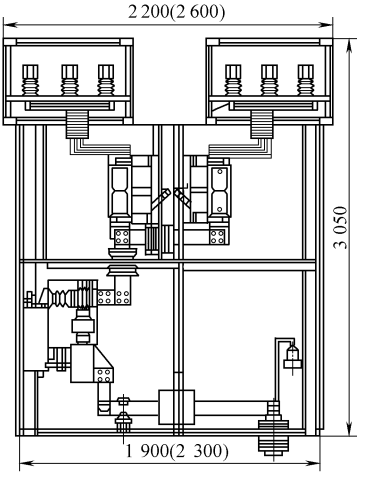


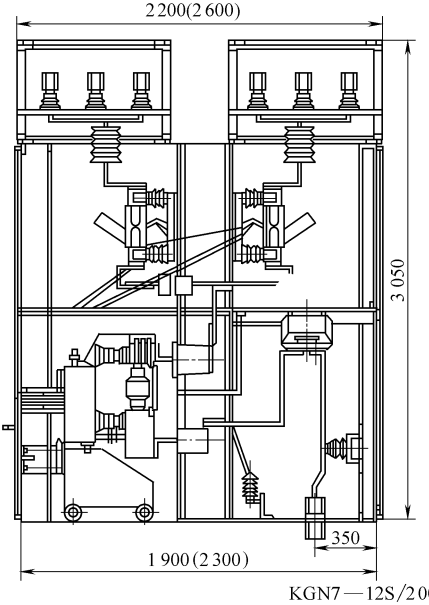
图 2-51　KGN7—12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

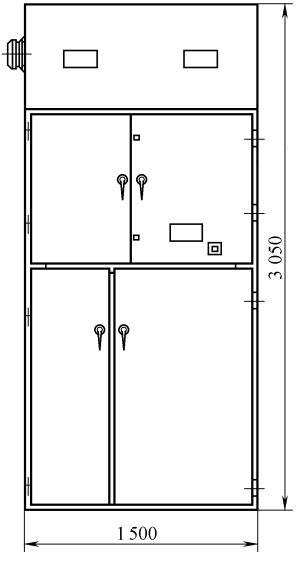


KGN7—12/6 300—63 进线柜



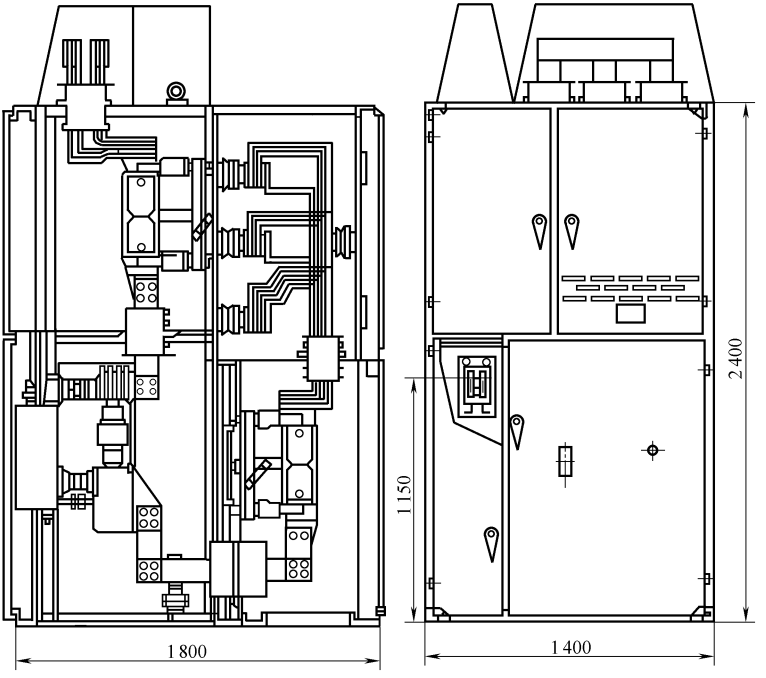
KGN7—12S/4000—63 进线柜





KGN7—12S/2 000A以下柜体

图 2-52　KGN7—12 系列铠装固定式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸



KGN7—12/4 000A进线柜

图 2-52　KGN7—12 系列铠装固定式户内交流
金属封闭开关设备的外形尺寸（续）

4. KGN12—40.5 型铠装固定式

三相 50Hz、40.5kV 户内配电系统中，作接受和分配网络电能，对电路控制、保护及监测。满足 GB 3906—2006、DL/T 404—2007、IEC 62271—200，具备“五防”。其技术数据见表 2-58。柜体由冷轧钢板弯制、喷涂后组装，内部由接地的金属隔板分隔成仪表室、断路器室（兼下隔离开关室）、上隔离开关室和电缆室共 4 个小室。断路器固定安装于断路器室下部，断路器上接线端通过套管与上隔离开关室相连，下接线端与电流互感器或下隔离开关相连，可通过面板直接对短路分、合闸等操作。可配 FP4025D 型 SF6 断路器或 ZN12 型真空断路器。一次线路方案见图 2-53，外形尺寸图 2-54。

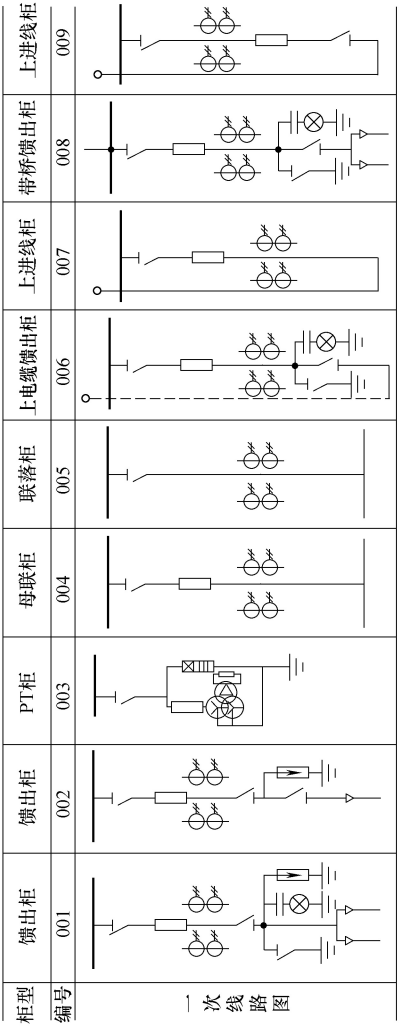


图 2-53　KGN12—40.5 型铠装固定式户内交流金属封闭式开关设备一次线路方案

表 2-58　KGN12—40.5 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目		参数	项目	参数
额定电压/kV		40.5	额定短路耐受电流(4s)/kA	31.5max
额定频率/Hz		50	额定短路关合电流/kA	80max
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压/kV	95/118	额定峰值耐受电流	
	雷电冲击耐受电压/kV	185/115	防护等级	IP3X
额定电流/A		2 500max	外形尺寸/mm	1 800×3 100×3 000
额定短路开断电流/kA		31.5max		

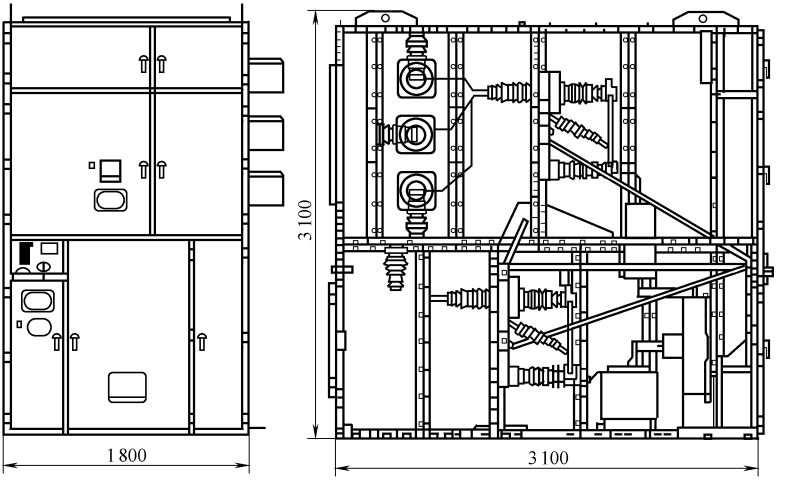


图 2-54　KGN12—40.5 型铠装固定式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

5. KYN9—12 型铠装移开式

三相、50Hz、单母线及单母线分段系统的户内成套配电装置，作接收和分配 3～10kV 电网电能，对电路控制、保护及检测。其技术数据见表 2-59。柜体用钢板弯制焊接，由固定柜体和可移动开手车组成。柜体用接地金属板分隔成手车室、母线室、电缆室和继电仪表室，制成金属封闭铠装式开关设备，整柜防护等级 IP3X。开关架用钢板弯制，底部有轮子，装有接地触头、导向装置、脚踏锁定装置、蜗轮蜗杆推进机构。用 ZN27、ZN28 系列真空断路器，操动机构为直流电磁及弹操机构。柜内空气绝缘，不设绝缘板，相间、相对地空气绝缘距离大于 125mm，柜内有机绝缘件爬距大于 240mm，手车柜满足全工况绝缘要求。一次线路方案见图 2-55，外形尺寸见图 2-56。

编号	001	002	003	005	006	007	009
一次线路图							
编号	010	011	013	014	015	017	018
一次线路图							
编号	019	020	021	023	024	025	027
一次线路图							

图 2-55　KYN9—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	028	029	030	031	033、034	035	036
一次线路图							
编号	037	038	039	040	041	042	043
一次线路图							
编号	044	045	046	047	048	051	053～056
一次线路图							

图 2-55　KYN9—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

表 2-59　KYN9—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参数	项　　目			参数
额定电压/kV	12	额定绝缘水平	1min 工耐受电压/kV	断口间	48
额定电流/A	1 250、3 000			相间、相对地	42
额定短路开断电流/kA	31.5、40		冲击耐受电压/kV	断口间	85
4s 额定短时耐受电流/kA	31.5、40			相间、相对地	75
额定短路关合电流(峰值)/kA	80、100	真空断路器的机械寿命/次			10 000
额定峰值耐受电流/kA	80、100				

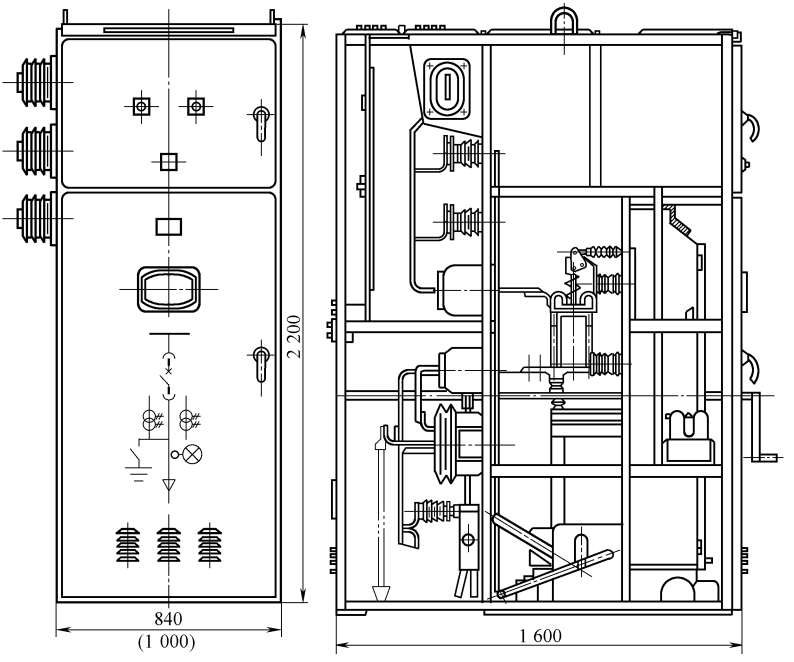


图 2-56　KYN9—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

6. KYN10—40.5 型铠装移开式

三相、50Hz、35kV 户内电力系统中，作发电厂、变电所和企业配电系统接收分配电能，对电路控制、保护和测量。广泛用于一般及频繁操作的电力线路中。其技术数据见表 2-60。柜内按功能用金属隔板分成继电器室、手车室、母线室及电缆室，各为独立单元，手车通过推进机构轻松进出，电流互感器与触头盒合为一体，柜体小，接地开关装在电缆室下部，操动杆可轻松操作接地开关。整个系统具有“五防”功能，柜体顶部设 2 个压力释放装置。一次线路方案见图 2-57，外形尺寸见图 2-58。

编号	001	002	003	004	005	006	007
一次线路图							

编号	008	009	010	011	012	013	014
一次线路图							

编号	015	016	017	018	019	020	021
一次线路图							
编号	022	023	024	025	026	027	028
一次线路图							

图 2-57　KYN10—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	029	030	031	032	033	034	035
一次线路图							

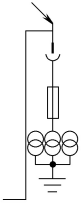
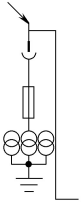
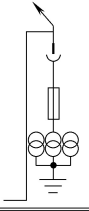
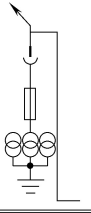
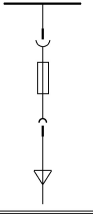
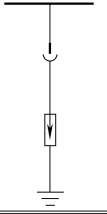
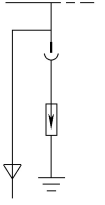
编号	036	037	038	039	040	041	042
一次线路图							

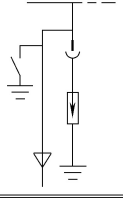
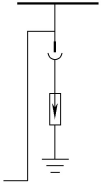
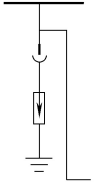
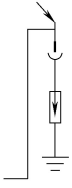
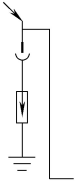
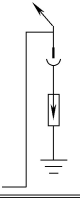
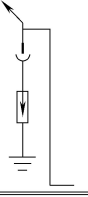
编号	043	044	045	046	047	048	049
一次线路图							
编号	050	051	052	053	054	055	056
一次线路图							

图 2-57　KYN10—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

编号	057	058	059	060	061	062	063
一次线路图							

编号	064	065	066	067	068	069	070
一次线路图							

编号	071	072	073	074	075	076	077
一次线路图							

编号	078	079	080	081	082	083	084
一次线路图							

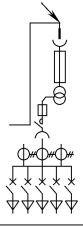
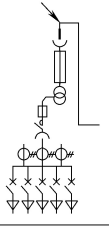
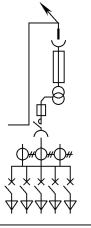
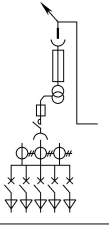
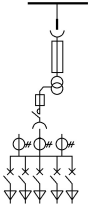
编号	085	086	087	088	089		
一次线路图							

图 2-57　KYN10—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

表 2-60　KYN10—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参数	项　　目	参数
额定电压/kV	40.5	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	185
额定电流/A	1 250、1 600	额定频率/Hz	50
主母线额定电流/A	1 600	额定热稳定电流(4s)/kA	25、31.5
1min 工频耐受电压/kV	95	额定动稳定电流/kA	63、80

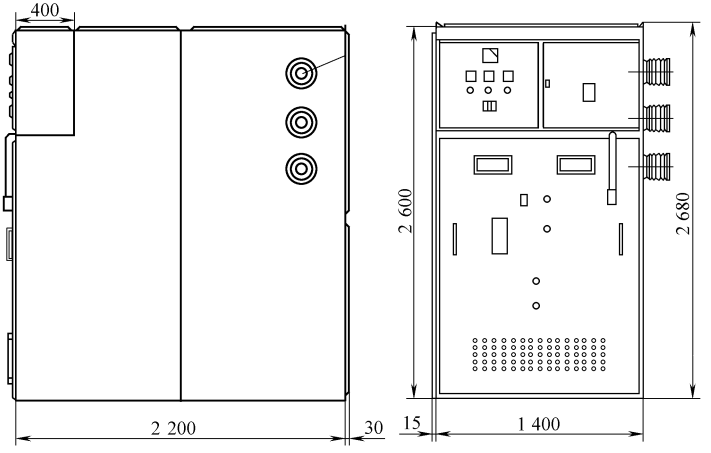


图 2-58　KYN10—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

7. KYN18—12 型铠装移开式

大型发电厂、变电站、3.6～12kV、50Hz 交流电网中，作接收和分配电能。其技术数据见表 2-61。柜体为全组装式、悬挂式中置结构，可提供落地式手车方案。能配装进口 3AF、3AH 等型号，或 ZN28、ZN65、ZN12 系列真空断路器。与 KYN18—10（F-C）并列布置，同规格手车完全互换。机构融推进、联锁于一体，互锁可靠，操作简单。丝杆推进，轨道导向装置合理，手车入柜后操作轻松。联锁装置符合“五防”要求，还与柜门有联锁，关闭柜门后才可解锁并操作该机构，手车被移至工作位置时柜门不能被打开，保证操作安全，防护等级 IP3X。柜顶设有泄压通道，内部故障时保护操作人员。手车动触头装有绝缘套筒，防止工作位置时活门意外下落造成三相短路。一次线路方案见图 2-59，外形尺寸见图 2-60。

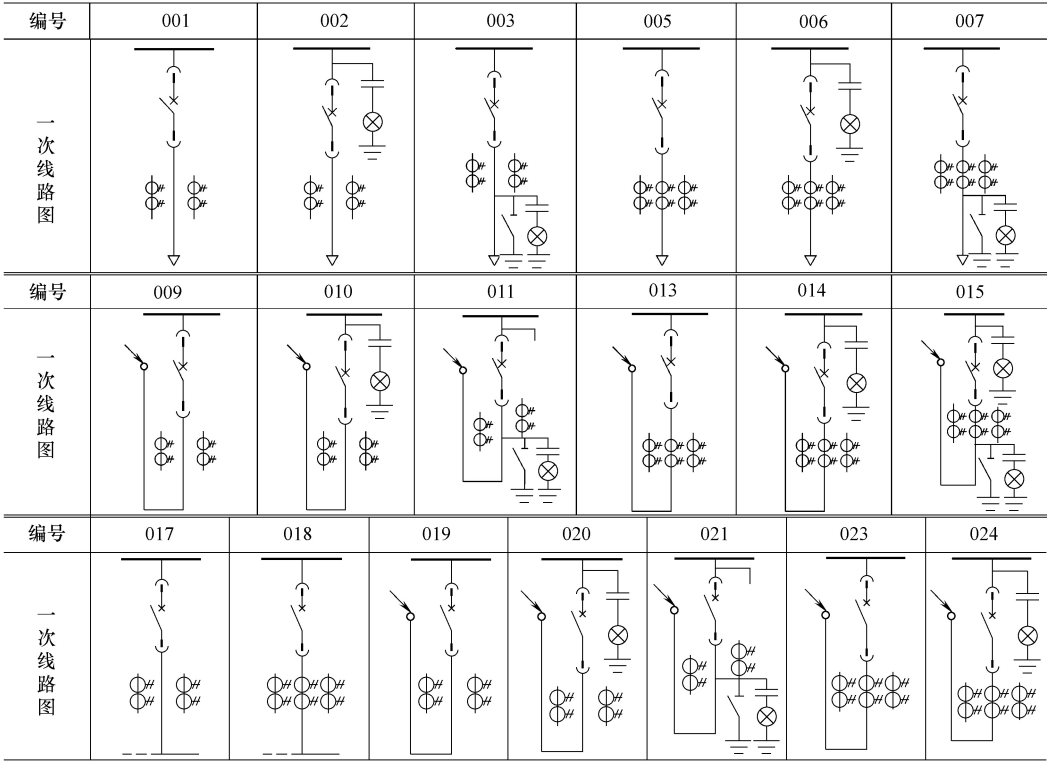


图 2-59　KYN18—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	025	027	028	029	030	031	032
一次线路图							

编号	033	034	035	036	037	038	039	040
一次线路图								

编号	041	042	043	044	045	046	047	048
一次线路图								

编号	049	050	051	052	053	054	055
一次线路图							

图 2-59　KYN18—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

表 2-61　KYN18—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参　　数
额定电压/kV	3.6、7.2、12
额定电流/A	630、1 250
额定短路开断电流/kA	25、31.5、40
额定短时耐受电流/(kA/s)	25/4、31.5/4、40/4
额定峰值耐受电流/kA	63、80、100

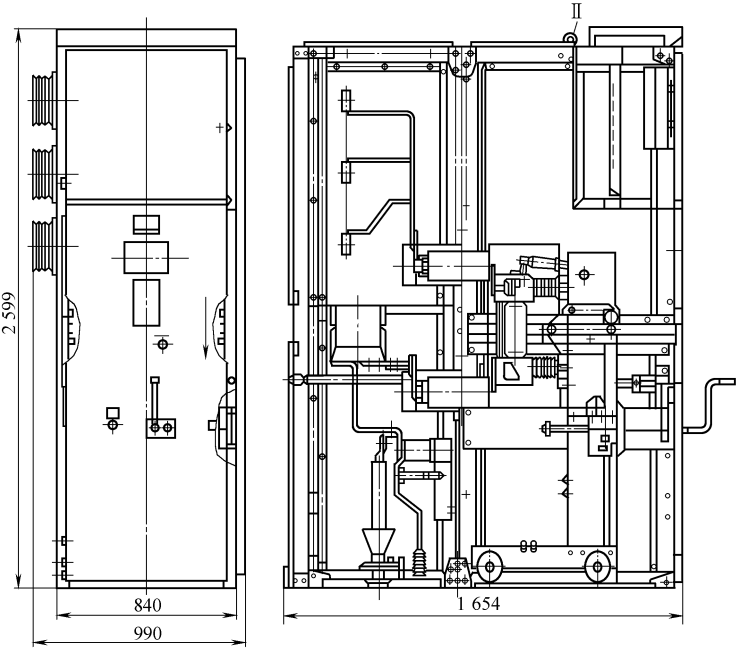


图 2-60　KYN18—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

8. KYN23—12 型铠装移开式

三相、50Hz、12kV 户内配电系统中，作接收和分配网络电能，对电路控制、保护及检测。满足 GB 3906、DL/T 404、IEC 62271，“五防”完善，技术数据见表 2-62。全组装式结构，由固定柜体和可移开部件组成。柜体各小室之间为金属板分隔。柜体结构灵活多样，有靠墙安装的单面维护结构、不靠墙安装的双面维护结构。透过前后门墙板观察墙，方便观察断路器分合闸状态、手车位置、机构储能状态、接地开关分合位置及电缆室内电缆头连接等情况。电缆室空间大。可配 ZN65A、ZN28、3AH 等系列真空断路器。一次线路方案见图 2-61，外形尺寸见图 2-62 和表 2-63。

编号	001	002	003	004	005	006
一次线路图						
编号	007	008	009	010	011	012
一次线路图						
编号	013	014	015	016	017	018
一次线路图						

图 2-61　KYN23—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	019	020	021	022	023	024
一次线路图						
编号	025	026	027	028	029	
一次线路图						

图 2-61　KYN23—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

表 2-62　KYN23—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目		参　　数
额定电压/kV		12
额定频率/Hz		50
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压/kV	42
	雷电冲击耐受电压/kV	75
额定电流/A		≤3 150
额定短路开断电流/kA		≤40
额定短时耐受电流(4s)/kA		≤40
额定短路关合电流/kA		≤100
额定峰值耐受电流/kA		≤100
防护等级		IP4X
外形尺寸/mm		800(1 000)×1 700(1 900)×2 300

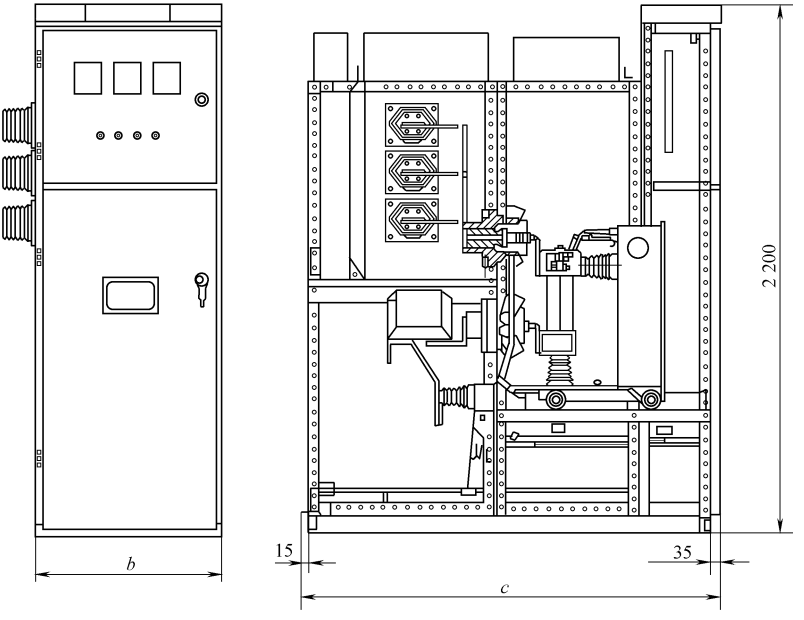


图 2-62　KYN23—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

表 2-63 KYN23—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

项目	尺寸/mm	适 用 情 况
宽度 b	800	配用断路器额定电流 1 600A 及以下复合绝缘
	900	配用断路器额定电流 1 600A 及以下空气绝缘
	1 000	配用断路器额定电流 2 000 ~ 3 150A
深度 c	1 700	电缆进出线、架空进出线方式二
	1 900	架空进出线方式一
	2 400	用于旁路开关柜

使用时应注意以下方面，确定均无问题后，才表明开关柜出现问题，查清原因后再进行自行维修或由专业厂维修。

① 向柜内推进手车前，将升降车或托架调平，推进手车时平稳、用力均衡，避免撞坏柜内丝杠、丝母等；手车在“试验”、“工作”位置，检查定位联锁手柄落下锁好。

② 用摇把推进手车时，如丝杠、丝母脱扣有响声立即停止摇动，已到工作位置。

③ 必须符合操作程序，如断路器不能合闸、接地开关和隔离开关不能操作、手车不能推进等都可能来自正常的联锁，不可强行加力操作。

④ 断路器手车在“试验”、“工作”位置合不上闸，要检查手车定位联锁手柄是否落到锁定位置，如没落到位可用手力将其压到位。

⑤ 手车定位联锁手柄不能抬起，要检查断路器如在合闸位置，要先使断路器分闸。

⑥ 手车在“试验”向“工作”位置不能推动，应查接地开关，如在合闸位置必须先将接地开关分闸。

⑦ 接地开关不能合闸操作，检查断路器手车是否在“工作”位置，对旁路柜还要检查隔离开关是否在“合闸”位置，如在“工作”位置，先将手车拉至“试验”及以后的位置，对于旁路柜要使隔离开关处于“分闸”位置；操作接地开关必须用专用的操作手柄，不得将手柄加长强行操作。

⑧ 后下门不能打开，应检查接地开关是否在“分闸”位置，先合接地开关。

9. KYN28A—12 型铠装移开式

三相、3.6 ~ 12kV、50Hz 单母线及分段系统，作户内接收和分配电能成

套配电设备，用于发电厂、中小型发电机送电、单位配电及供电系统二次变电所的受电、送电及大型高压电动机的起动等，可对电路控制、保护和检测等。配 VD4、VSI、VEP、3AH 等户内高压真空断路器，符合 GB 3906—2006、IEC298、DL/T 404—2007。其技术数据见表 2-64。柜体由固定柜体和手车组成。开关柜装有隔板分成手车室、母线室、电缆室、继电室、仪表室，每 1 单元独立接地。外壳防护等级 IP4X，断路器室门打开时防护等级 IP2X。

根据用途手车分断路器手车、电压互感器手车、计量手车、隔离手车、站用变手车等，相同用途手车可互换。手车在柜内有试验、隔离和工作位置，每位置设定位装置。开关柜成背对背或面对面双排排列安装。开关柜靠墙安装，安装与调试均在正面。一次线路方案见图 2-63，外形尺寸见图 2-64。

表 2-64　KYN28A—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目	参数	项目	参数
最高工作电压/kV	12	额定短路关合电流(峰值)/kA	63、80、100、125
额定电压/kV	10		
工频耐受电压/kV	42(断口间 48)	额定动稳定电流(峰值)/kA	63、80、100、125
冲击耐受电压/kV	75(断口间 85)		
额定电流/A	630、1 250、1 600、2 000、3 150、4 000	额定热稳定电流(有效值)/时间/(kA/s)	25/4、31.5/4、40/4、50/4
额定频率/Hz	50	额定短路电流开断次数/次	50
防护等级	外壳 IP4X、断路器室门打开 IP3X	机械寿命/次	30 000
		额定电流开断次数/次	
额定短路开断电流(有效值)/kA	25、31.5、40、50	重量/kg	700～900

10. KYN37—40.5 型铠装移开式

三相、50Hz、40.5kV 的户内装备，作企业、电厂及变电站电气设施的控制和保护。技术数据见表 2-65。铠装结构、外防护等级 IP4X，各小室门打开时防护等级 IP2X；仪表室内继电器安装板可拉出，检修调试方便；柜体体积小、强度高；手车落地，方便安装与检修；配 ZN91—40.5kV、ZN85—40.5kV、LN—40.5kV 和 3AH 型真空断路器。其外形见图 2-65，安装尺寸见表 2-66。

编号	001	002	003	004	005	006	007	008
一次线路图								

编号	009	010	011	012	013	014	015	016
一次线路图								

编号	017	018	019	020	021	022	023	024
一次线路图								

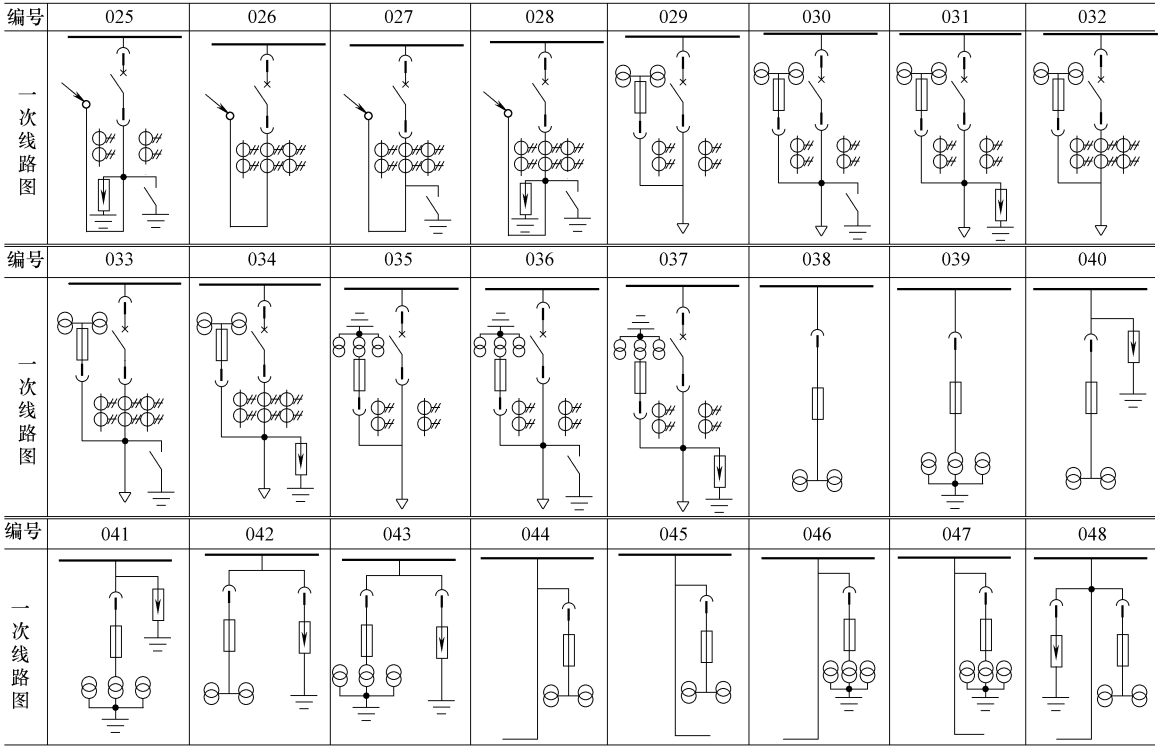


图 2-63　KYN28A—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	049	050	051	052	053	054	055	056
一次线路图								

编号	057	058	059	060	061	062	063	064
一次线路图								

编号	065	066	067	068	069	070	071	072
一次线路图								

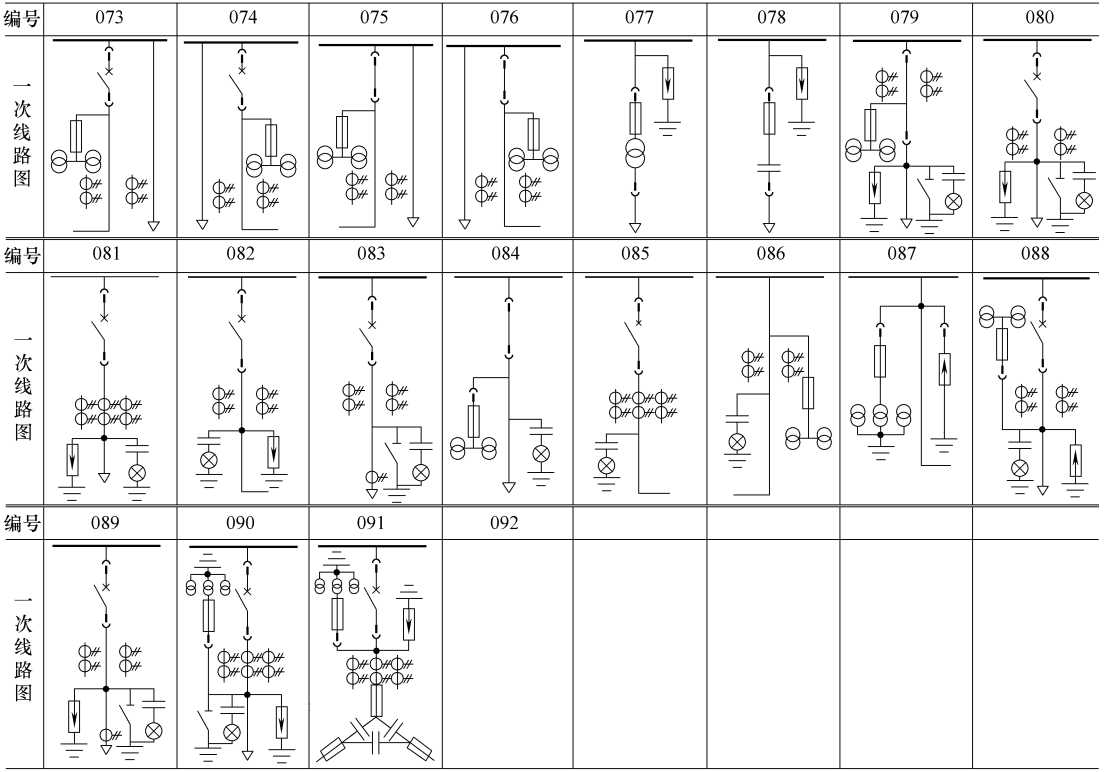
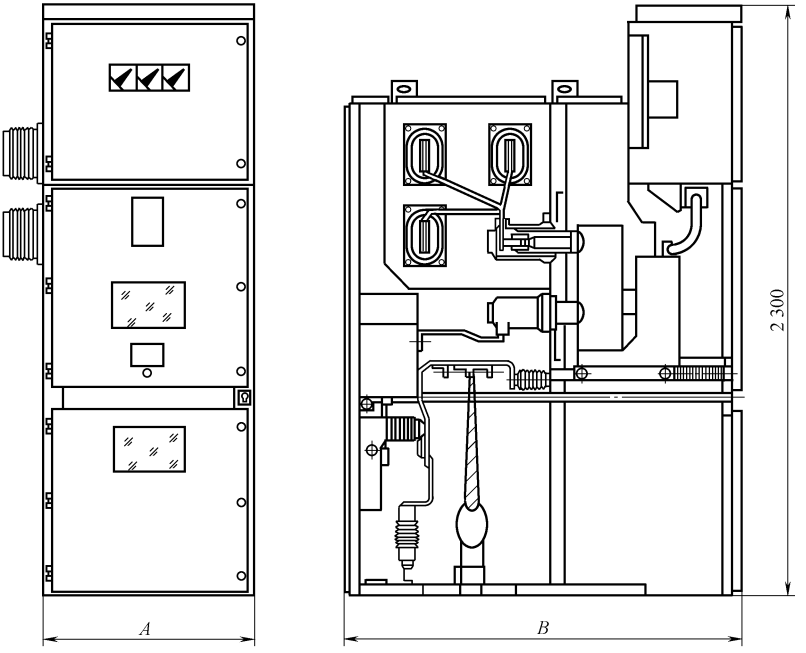


图 2-63　KYN28A—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）



（单位：mm）

柜框 *A*	柜深 *B*
650	1 500（电缆）
	1 660（架空）
800	1 500（电缆）
	1 660（架空）
1 000	1 500（电缆）
	1 660（架空）

图 2-64　KYN28A—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形尺寸

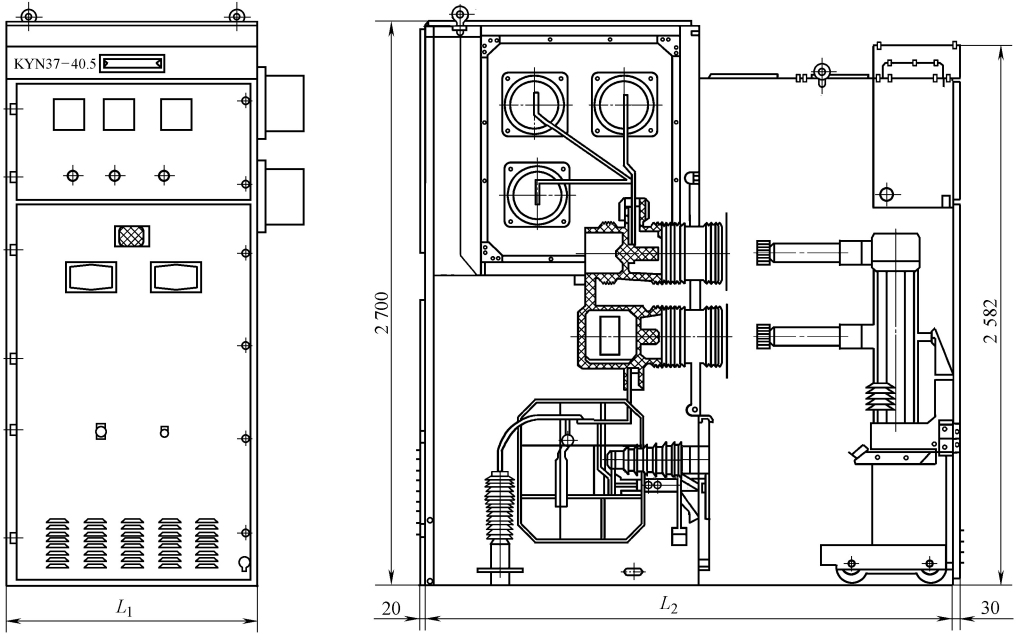
注：额定电流 <1 600A 且采用电缆进出线时，柜体宽度 650mm（复合绝缘）或 800mm（空气绝缘），柜体深度 1 500mm；额定电流≥1 600A 且架空进出线时，柜体宽度 1 000mm，柜体深度 1 660mm。

表 2-65　KYN37—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目			参数
开关设备基本参数	额定电压/kV		40.5
	额定电流/A		1 250、1 600、2 000、2 500
	1min 工频耐受电压/kV		95
	额定雷电冲击耐受电压/kV		185
	额定自动重合闸操作顺序		分-0.3s-合分-180s-合分
	额定短路开断电流/kA		20、31.5
	额定短路关合电流(峰值)/kA		63、80
	4s 额定热稳定电流/kA		25、31.5
	额定动稳定电流(峰值)/kA		63、80
配 ZN91—40.5 型断路器的参数	额定电压/kV		40.5
	额定电流/A		630、1 250、1 600、2 000、2 500
	额定绝缘水平	1min 工频耐受电压,极间、极地间/断口间/kV	95
		雷电冲击耐受电压(峰值),极间、极地间/断口间/kV	185
		辅助电路、控制电路的工频耐受电压/(V/min)	2 000
	额定频率/Hz		50
	额定短路开断电流/kA		20、25、31.5
	额定短路关合电流/kA		50、63、80
	额定峰值耐受电流/kA		
	额定短路开断电流开断次数/次		30
	额定短时耐受电流/额定短路持续时间(4s)/kA		20、25、31.5
	机械寿命/次		10 000

表 2-66　KYN37—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的安装尺寸　(单位：mm)

	L_1	L_2	L_3
配 ZN91—40.5 断路器	1 200	2 550	3 350
配 ZN91—40.5 断路器	1 400		
配 LN2—40.5、3AH 断路器		2 900	3 700



不带800后柜

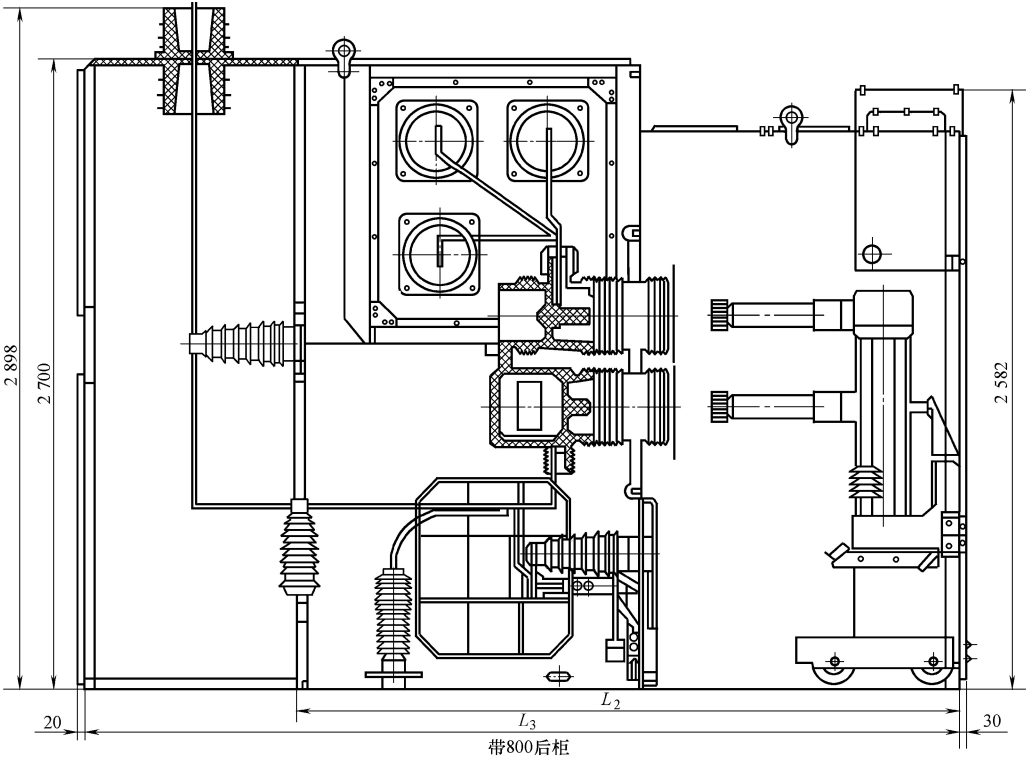


图 2-65　KYN37—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备的外形

11. KYN41—40.5 型铠装移开式

引进法国技术并结合国内特点开发，三相、50Hz、35kV 单母线分段系统中，作接收和分配电能的户内金属铠装成套开关柜。40.5kV、额定短时耐受电流（3s，有效值）25kA、雷电冲击耐受电压 1.2/50（峰值）为 185kV、额定峰值耐受电流（峰值）为 63kA、1min 工频耐压（有效值）为 95kV、主母线工作电流 2 500A，外壳防护等级 IP4X。

开关柜断路器、母线、电缆及低压等隔室由接地金属隔板分开，组成完整的全封闭铠装设备，满足“五防”要求。管状母线，电场分布均匀，分段长度与开关柜宽度相等，三相主母线近似呈直角形排列。手车室、手车、母线室、电缆室、架空引线室及倒线室组合成完整的一次方案，开关柜系列标准化，组装灵活，每台均设 5mm×25mm 铜母线封闭接地回路，主要元器件可靠接地。沿开关柜排列方向在手车室底部铺设 5mm×40mm 接地铜母线，手车和柜体固定触头实现接地。一次线路典型方案见图 2-66，外形见图 2-67。

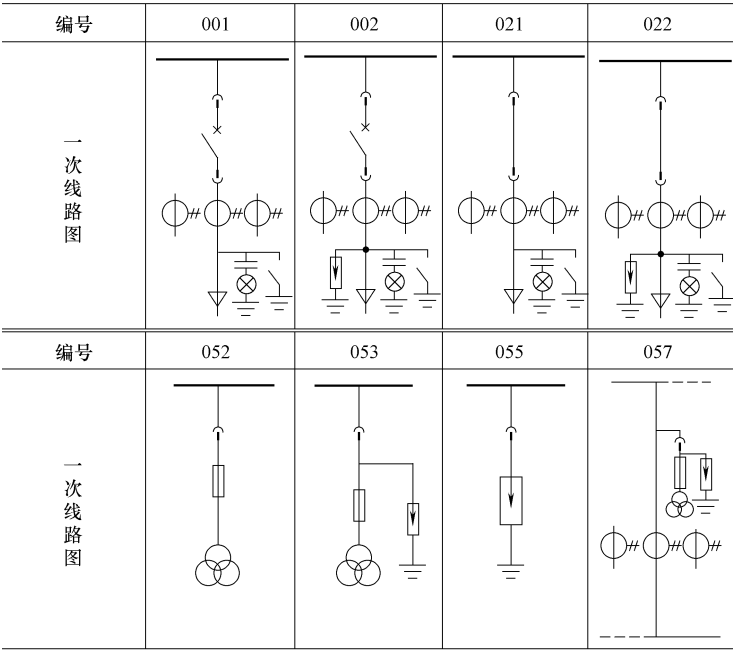


图 2-66　KYN41—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路典型方案

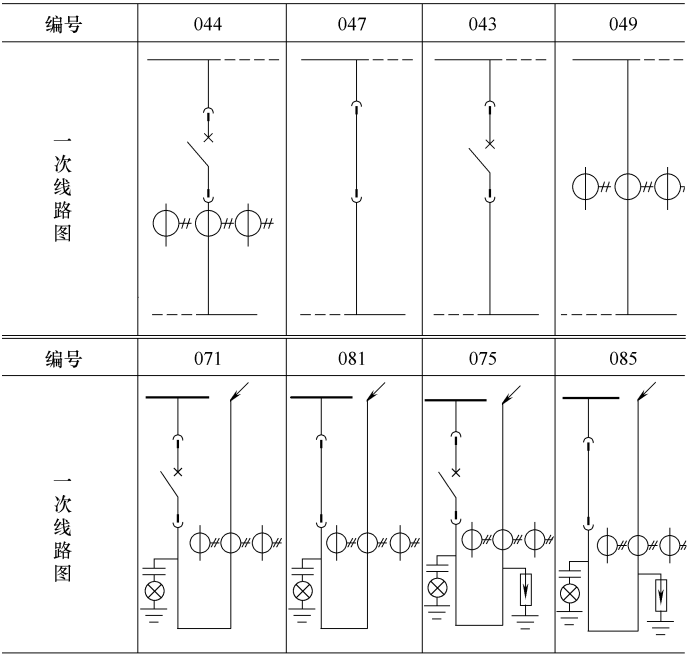


图 2-66　KYN41—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路典型方案（续）

12. KYN56—12 型铠装移开式

三相、50Hz、3～10kV 单母线及单母线分段系统的成套配电设备，作发电厂、中小型发电机传送、企业配电及电力系统的二次变电所受电、送电及大型高压电动机起动等的控制保护、检测。技术数据见表 2-67。标准方案 60 余种、易组柜。柜体组装式，配合精度高、易互换、接地性能好，外壳防护等级 IP4X。有压力释放通道与装置，防内部电弧故障，柜体内部三相电弧短路故障时，确保不会波及邻柜或邻室。所有柜型能 110% 额定电流长期工作。电缆室空间大，可同时安装 3 根一次

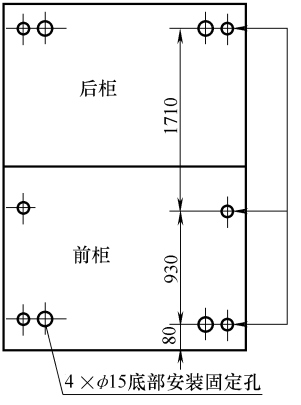


图 2-67　KYN41—40.5 型开关设备的外形

电缆，真空灭弧室基板可拆卸，安装及维修电缆方便。真空灭弧室上、下活门可同时或分别打开及锁定，保障安全。一次母线均可加套高压绝缘热缩管及绝缘罩。

表 2-67　KYN56—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目		参　　数					
额定电压/kV		7.2/12					
1min 额定工频耐受电压/kV		32/42					
额定雷电冲击耐受电压/kV		60/75					
额定频率/Hz		50/60					
母线的额定电流/A		630、1 250	630、1 250	1 250	1 600、2 000	1 600、2 000、3 150	4 000
额定短路开断电流/kA		20	25	31.5	31.5	40	50
额定短路关合电流/kA		50	63	80	80	100	125
防护等级	门、外壳	IP4X					
	柜内隔板	IP2X					

绝缘水平高，适于海拔2 000m 和其他类型环境。满足“五防”要求，安全性较高。二次控制室内端子布置合理，安装微机型综保继电器、提供中央监控用接口等，一次触头为捆绑“郁金香”式，接触压力合理，保证动静触指间面接触，确保一次触头正常可靠工作。一次线路方案见图 2-68，外形见图 2-69。

13. KYN61—40.5 型铠装移开式

三相、50Hz、40.5kV 户内成套配电装置，作电厂、变电站及企业接收和分配电能，对电路控制、保护和检测等，可频繁操作。符合 IEC 298、GB 3906—2006、DL/T 404—2007 等。技术数据见表 2-68，封闭结构。按功能特征，典型方案分为继电器仪表室、手车室、电缆室和母线室。柜体可闭门操作，各项正常操作包括断路器分合闸、断路器手推车到工作位置、退出到试验/隔离位置及接地开关的分合闸，都可在高压隔离门关闭时操作。触头盒前装有金属活门，上下活门在手车从断开、试验位置运动到工作位置过程中自动打开，而当手车反方向运动后自动关闭，形成有效隔离。配合新型复合绝缘真空断路器，采用手车落地式结构，互换性好、更换简单。手车车架中装有丝杠螺母推进结构，可轻松移动手车，并装有离合器，可防止因误操作而损坏推进机构。主开关、手车、开关柜门之间的联锁均采用强制性机械闭锁方式，满足“五防”要求。电缆室空间充裕。外壳防护等级 IP3X，手车室门打开时 IP2X。一次线路方案见图 2-70，外形见图 2-71。

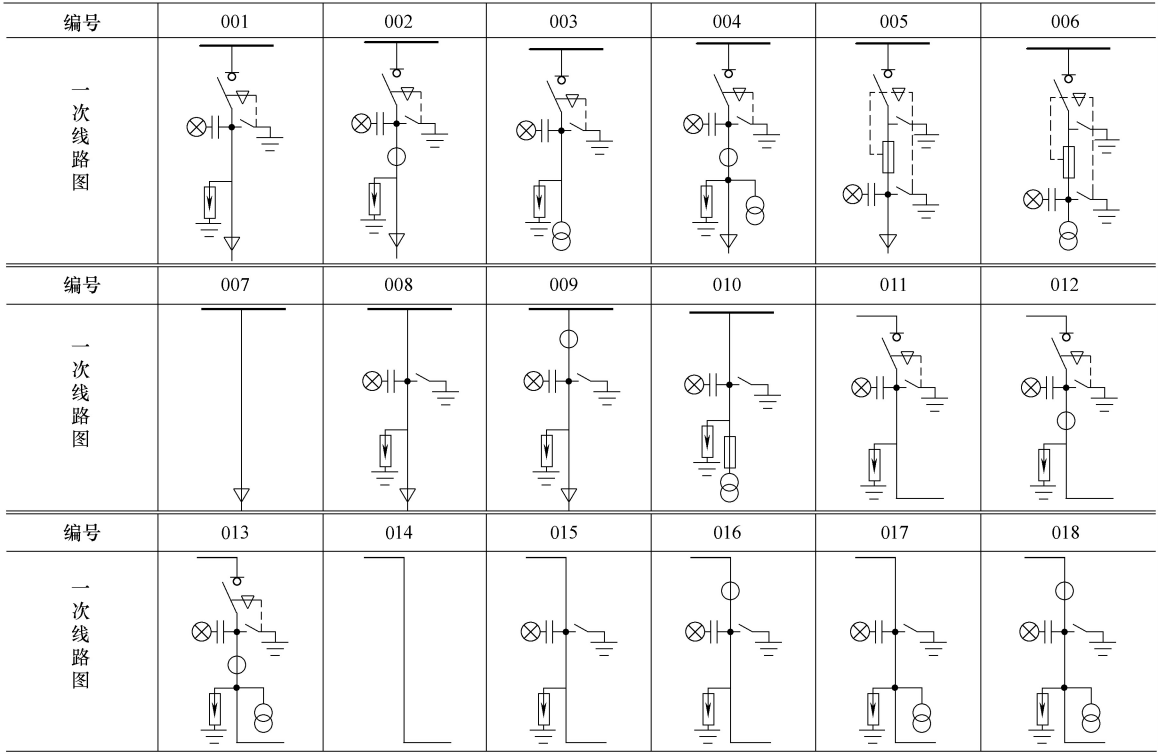


图 2-68　KYN56—12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

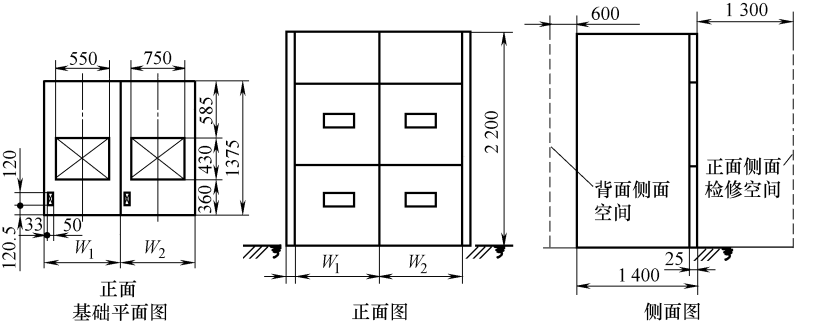


图 2-69　KYN56—12 型开关设备的外形

W_1—700mm 或 800mm 宽距　W_2—1 000mm 或 1 200mm 宽距

表 2-68　KYN61—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项目		参数
真空开关柜	额定电压/kV	40.5
	额定电流/A	1 250、1 600、2 000
	额定频率/Hz	50
	额定短时耐受电流/kA	20、25、31.5
	额定峰值耐受电流/kA	50、63、80
	额定工频耐受电流/kV	95/1min
	额定雷电冲击耐受电压/kV	185
	额定短路持续时间/s	4
	防护等级	IP3X
真空断路器	额定电压/kV	40.5
	额定频率/Hz	50
	额定工频耐受电压/kV	95/1min
	额定雷电冲击耐受电压/kV	185
	额定电流/A	1 250、1 600、2 000
	额定短时耐受电流/kA	20、25、31.5
	额定短路开断电流/kA	20、25、31.5
	额定峰值耐受电流/kA	50、63、80
	额定短路持续时间/s	4
	分闸时间/ms	$30 \leqslant t \leqslant 60$
	合闸时间/ms	$50 \leqslant t \leqslant 100$
	额定短路开断电流次数/次	20
	机械寿命/次	10 000
弹操机构	额定操作电压(分闸线圈、合闸线圈)/V	AC/DC 220、110
	额定操作电流(分闸线圈、合闸线圈)/A	0.96(220V)、1.05(110V)
	储能电动机功率/W	230
	储能电动机额定电压/V	AC/DC 220、110
	储能时间/s	≤12

编号	001	002	003	004	005	006	007
一次线路图							

编号	008	009	010	011	012	013	014
一次线路图							

图 2-70　KYN61—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	015	016	017	018	019	020	021
一次线路图							
编号	022	023	024	025	026	027	
一次线路图							

图 2-70　KYN61—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

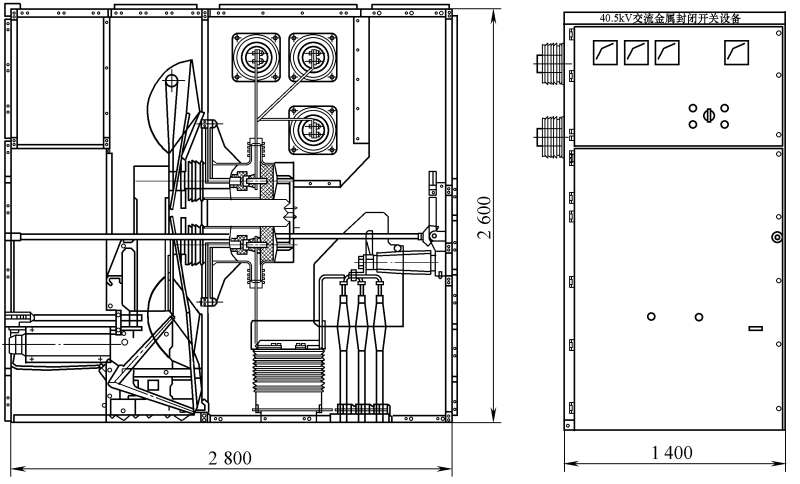


图 2-71　KYN61—40.5 型开关设备的外形

使用要求：环境空气温度 -10 ~ +40℃；海拔小于 1 000m；相对湿度日平均不大于 95%、月平均不大于 90%；饱和蒸汽压日平均不大于 2.2×10^{-3}MPa，月平均不大于 1.8×10^{-3}MPa；地震烈度不大于 8°；周围空气无腐蚀性物质、可燃气体、水蒸气等明显污染；无经常性的剧烈振动。

14. KYN72—40.5 型铠装移开式

引进美国技术，三相、50Hz、单母线及单母线分段系统的户内成套配电装置，作接收和分配 35kV 网络电能，对电路控制、保护及监测。符合 GB 3906—2006、DL/T 404—2007、IEC 62271—200 及 IEC 60694，具备“五防”功能。技术数据见表 2-69，所选用断路器的技术数据见表 2-70。柜体分成手车室、母线室、电缆室、继电器仪表室，每个单元独立接地。采用复合绝缘，柜体结构紧凑，体积小；手车移动轮与工作轮分开，如地面不平时有效减小对车、柜配合不良的影响；滚珠丝杆推进机构，手车进退灵活；“五防”联锁；可配多种断路器，真空断路器有 ZN91—40.5、西屋 40.5W—VACW、ABB VD4；西门子 3AH4，SF_6断路器有 LN2A—40.5、施耐德 SF1 和 SF2、阿尔斯通 FP 4 020和 FP 4 025。一次线路方案见图 2-72，外形图 2-73。

表 2-69 KYN72—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关技术数据

项　　目	参　　数	
额定电压/kV	40.5	
额定短时(1min)工频耐受电压/kV	95	
额定雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	185	
额定频率/Hz	50	
额定电流/A	1 250、1 600、2 000、2 500、3 000	
额定短路开断电流/kA	25	31.5
额定短路关合电流(峰值)/kA	63	80
额定短时耐受电流/kA	25	31.5
外壳防护等级	IP3X	
外形(宽×高×深)/mm	1 200(1 400)×2 400×2 800	
重量/kg	1 000～1 500	

表 2-70 所选用断路器的技术数据

项　　目	真空断路器				SF_6 断路器				
	ZN91	40.5W-VACW	VD4	3AH4	LN2A	SF1	SF2	FP 4 020	FP 4 025
额定电压/kV	40.5								
额定电流/A	1 250～2 500		2 000		1 600	1 250	2 500	1 250～3 150	
额定短路开断电流/kA	25～31.5		31.5		25	25	31.5	20	25

15. HXGN10—12 系列箱型固定式

50Hz、环网供配电系统和辐射式供配电系统中的开关成套设备，作变压器、电缆、架空线等电力设备的保护、控制。主要开关元件用 FN11—12 系列压气式负荷开关及其组合电器、FZN40—12 系列真空负荷开关及组合电器和 ZN118A—12C（VEC）系列真空断路器。技术数据见表 2-71。由负荷开关及其组合电器、金属柜体组装成套，基本柜型有侧装柜和正装柜，侧装柜占地小；正装柜方便电缆安装及维护。柜体牢固、密封性好，外壳防护等级 IP3X。

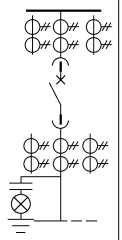
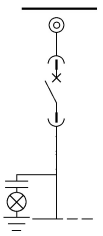
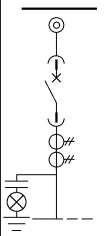
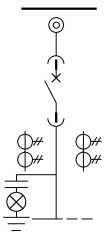
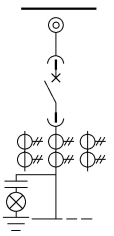
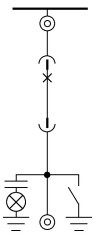
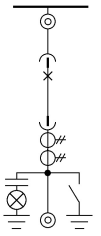
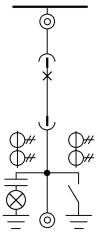
有上下两个完全隔离的金属间隔，母线室与开关室，无需另外附加隔离板，方便维修、更换熔断器。母线室由金属封闭，母线经过穿墙套管连接，母线室前可设立完全隔离的仪表室，专门安装二次设备。开关室主要安装一次设备及电缆连接用，柜门与开关五防联锁。柜门有观察窗，便于观察隔离断口、检视运行状态。环网柜顶部装压力释放装置，柜内有压力释放通道，在柜体前下方设有专用的接地铜母线。一次线路方案见图 2-74，外形见图 2-75，安装尺寸见表 2-72。

编号	001	002	003	004	005	006	007	008
一次线路图								
用途	架空进(出)线							
编号	009	010	011	012	013	014	015	016
一次线路图								
用途	架空进(出)线			电缆进(出)线				

图 2-72　KYN72—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	017	018	019	020	021	022	023	024
一次线路图								
用途	电缆进(出)线						左(右)联络	

编号	025	026	027	028	029	030	031	032
一次线路图								
用途	左(右)联络							

编号	033	034	035	036	037	038	039	040
一次线路图								
用途	架空进(出)线兼左(右)联络					架空进(出)线		

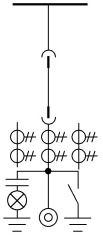
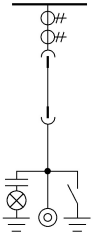
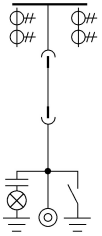
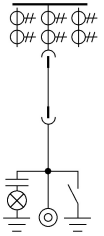
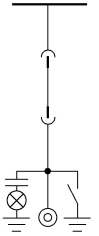
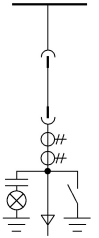
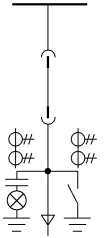
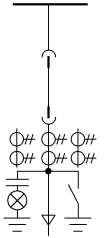
编号	041	042	043	044	045	046	047	048
一次线路图								
用途	架空进(出)线				电缆进(出)线			

图 2-72　KYN72—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

编号	049	050	051	052	053	054	055	056
一次线路图								
用途	电缆进(出)线			左(右)联络				

编号	057	058	059	060	061	062	063	064
一次线路图								
用途	左(右)联络						架空进(出)线兼左(右)联络	

编号	065	066	067	068	069	070	071	072
一次线路图								
用途	架空进(出)线兼左(右)联络		电压互感器	电压互感器兼进(出)线	电压互感器兼左(右)联络			

编号	073	074	075	076	077	078	079	080
一次线路图								
用途	电压互感器兼架空进(出)线及左(右)联络				电压互感器兼左(右)联络	电压互感器	电压互感器兼进(出)线	

图 2-72　KYN72—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

编号	081	082	083	084	085	086	087	088
一次线路图								
用途	电压互感器兼左(右)联络			电压互感器兼架空进(出)线及左(右)联络				电压互感器兼左(右)联络

编号	089	090	091	092	093	094	095	096
一次线路图								
用途	电压互感器	电压互感器兼进(出)线	电压互感器兼左(右)联络				电压互感器兼架空进(出)线及左(右)联络	

编号	097	098	099	101	102	103	104	105
一次线路图								
用途	电压互感器兼架空进(出)线及左(右)联络		电压互感器兼左(右)联络	站用变压器	避雷器	避雷器兼进(出)线	避雷器兼左(右)联络	
编号	106	107	108	109	113	114	115	
一次线路图								
用途		避雷器兼左(右)联络			电压互感器兼接地			

图 2-72　KYN72—40.5 型铠装移开式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

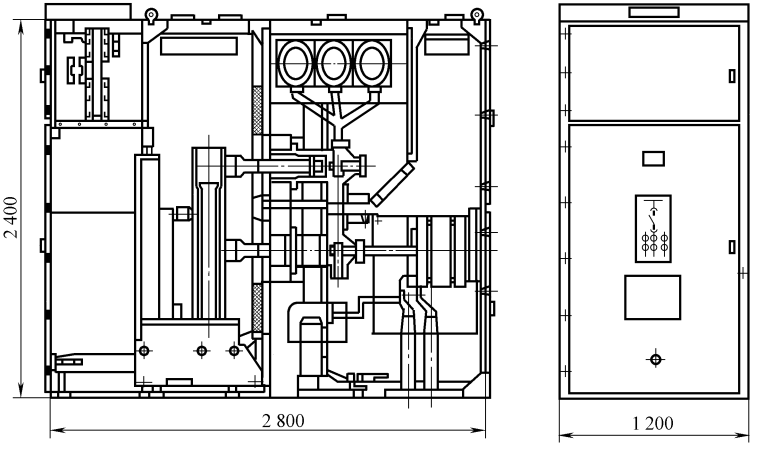


图 2-73　KYN72—40.5 型开关设备的外形

表 2-71　HXGN10—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目		型　号　规　格				
		HXGN10—12(F)/630	HXGN10—12(FZ)/630	HXGN10—12(FR)/630	HXGN10—12(FZR)/630	HXGN10—12(Z)/630
额定电压/kV		12				
额定频率/Hz		50				
额定电流/A		630		125	200	630
额定短时耐受电流/kA		20				25
额定短路持续时间/s		4				4
额定峰值耐受电流/kA		50				63
额定短路关合电流/kA		50				63
额定有功负载开断电流/A		630				
额定闭环开断电流/A		630				
额定转移电流/A				1 300	3 150	
额定短路开断电流/kA				31.5(预期)		
1min 工频耐受电压/kV	相间,相对地	42				
	隔离断口	48				
雷电冲击耐受电压/kV	相间,相对地	75				
	隔离断口	85				
开关柜元件		FN11—12(D)/630	FZN40—12(D)/630	FN11—12(DR)/125	FZN40—12(D)/200	ZN118—12A(B)/630—25

编号	001	002	003	004	005	006	007	011
一次线路图								
编号	012	013	014	021	022	031	032	033
一次线路图								

图 2-74　HXGN10—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	034	035	036	037	038	041	042	043
一次线路图								
编号	044	045	046	047	048			
一次线路图								

图 2-74　HXGN10—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

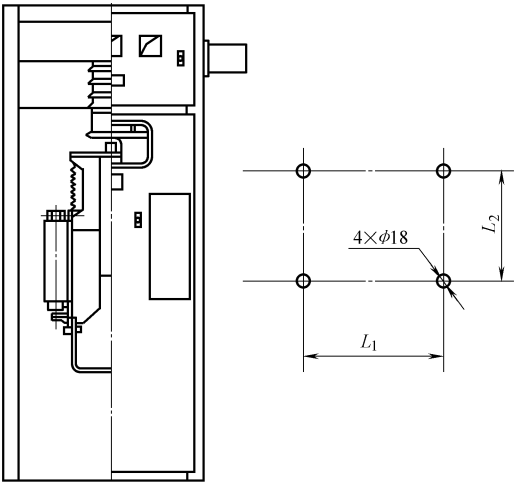


图 2-75　HXGN10—12 系列开关设备的外形

表 2-72　HXGN10—12 系列开关设备的安装尺寸　（单位：mm）

柜　　型	侧装柜(宽×深×高)	正装柜
HXGN10—12(F 或 FR)	650×1 000×1 850	900×700×2 000
HXGN10—12(FZ 或 FZR)	700×1 000×1 850	
HXGN10—12 联络柜	400×1 000×1 850	
HXGN10—12 断路器柜(ZN118—12A)	500×1 000×1 850	
HXGN10—12 断路器柜(ZN118—12B)	650×1 000×1 850	

外 形 尺 寸	L_1	L_2
400×1 000×1 850	0	940
650×1 000×1 850	250	900
700×1 000×1 850	300	940
900×1 000×1 850	500	940

16. HXGN12—12 系列箱型固定式

三相、50Hz、3.6～12kV 单母线系统中，作接收和分配电能的户内成套装置产品，符合 GB 3906—2006、DL/T 404—2007。技术数据见表 2-73。金属全封闭结构，柜内钢板分隔为断路器室、母线室、电缆室和断电器室。门上设有观察窗。用旋转式隔离开关，隔离开关在分断位置时将导体接地，即在带电体和被隔离体间形成“金属隔离”可不采用任何形式的相间、相对地绝缘板，满足“五防”要求，结构紧凑、安全可靠、维修方便。一次线路方案见图 2-76，外形尺寸图 2-77。操作程序：停电操作（运行-检修）；送电操作（检修-运行）；解锁；联锁。

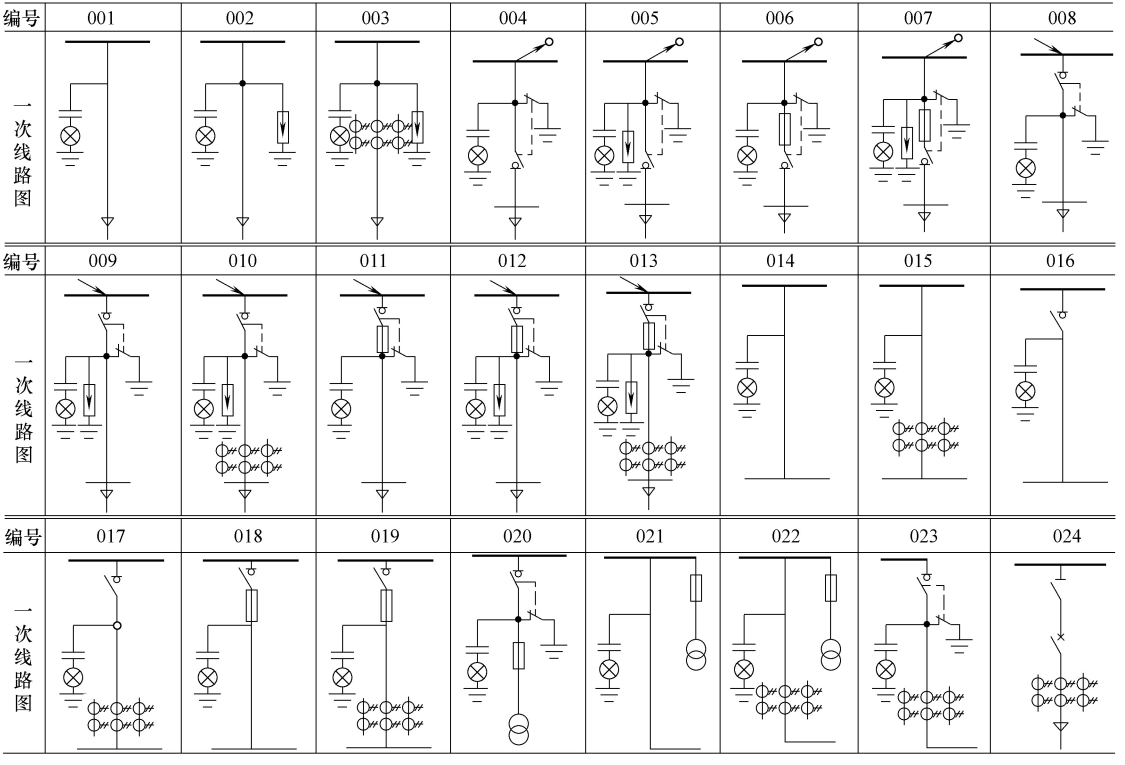


图 2-76　HXGN12—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

表 2-73　HXGN12—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参　　数	项　　目	参　　数
标准电压/kV	3、6、10	额定热稳定电流/kA	20、31.5、40
最高工作电压/kV	3、6、7.2、12	额定关合电流/kA	50、80、100
额定频率/Hz	50	热稳定时间/s	4
额定电流/A	630～3 150	防护等级	IP2X
额定开断电流/kA	20、31.5、40	母线系统	单母线
额定动稳定电流/kA	50、80、100	外形尺寸/mm	1 100×1 200×2 650

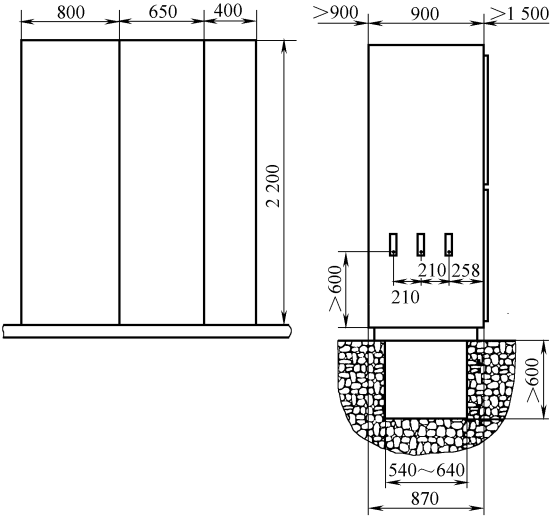


图 2-77　HXGN12—12 系列开关设备的外形

17. HXGN19—12 系列箱型固定式

适于工矿、小区、建筑、学校公园等场所三相、50Hz、10kV 配电系统中，作接收和分配电能。用于环网供电和终端供电，也可装于组合式箱变内作为高压配电柜用。采用拼装式结构。技术数据见表 2-74。柜外壳模块设计，根据接线方案可随意组合，靠墙安装；电缆接线端高度不小于 700mm，柜内有简单可靠的防误闭锁和开关操动机构，柜内各零件均通过表面处理，满足性能；绝缘件爬距大、阻燃。柜内配 ZFN□—10（R）型真空负荷开关，由隔离刀开关及真空灭弧室组成，结构紧凑，可手动储能、合分闸操作，也可电动储能合闸操作及电动跳闸；手操与电操并存时互锁机构可靠；合分闸力矩小。一次线路方案见图 2-78，外形见图 2-79。

编号	001	002	003	004	005	006
一次线路图						
编号	007	008	009	010	011	012
一次线路图						

图 2-78　HXGN19—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

表 2-74　HXGN19—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目			HXGN19—12/T630—20	HXGN19—12Z(F、R)/T125—31.5
额定电压/kV			12	
额定电流/A			630	≤125
额定断路开关电流(有效值)/kA			—	31.5
额定短路关合电流(峰值)/kA			50	80
额定热稳定电流(有效值)/(kA/s)			20/4	—
额定动稳定电流(峰值)/kA			50	—
接地开关额定热稳定电流(有效值)/(kA/s)			20/4	—
接地开关额定动稳定电流(峰值)/kA			50	
接地开关额定短路关合电流(峰值)/kA			50	—
额定交流电流/A			—	3 150
额定有功负载开断电流/A			630	
额定耐受电压	额定雷电冲击耐受电压/kV	对地、相间及真空开关断口间	75	
		隔离断口间	85	
	额定 1min 工频耐受电压/kV	对地、相间及真空开关断口间	42	
		隔离断口间	48	
		二次电路	2	
主电路电阻/Ω			≤300	
机械寿命/次			10 000	

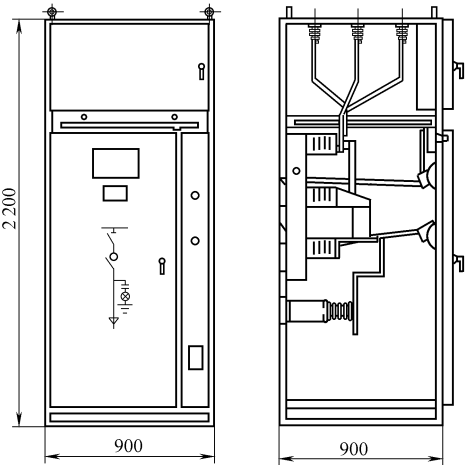


图 2-79　HXGN19—12 系列开关设备的外形

18. HXGN20—12 系列箱型固定式

适于三相、50Hz、10kV 环网供电或双辐射供电系统中，作电能控制和保护装置。环网柜用于终端供电，也可装于箱式变电站。可配 SF_6 断路器、真空断路器、真空负荷开关-熔断器组合电器，技术数据见表 2-75。用真空负荷开关，集隔离开关、负荷开关、接地开关三工位于一体，具有负荷、隔离、接地功能。真空负荷开关配电动弹簧储能机构，手动和电操，可就近与远距离操控快速分、合闸。真空负荷开关兼具机械脱扣和电磁脱扣装置。当负荷开关与带撞击器的限流式熔断器结合构成组合电器时，与负荷开关尺寸相同，当熔断器熔断时，撞击器击出并落在负荷开关的脱扣板上，通过连杆系统使负荷开关三相同时分闸，此撞击器操作的功能为机械脱扣。真空负荷开关还可安装分励脱扣器，通过继电保护使负荷开关自动跳闸，此系脱扣器操作，亦即电磁脱扣。新型“五防”，安全可靠。一次线路方案见图 2-80，外形见图 2-81。

表 2-75　HXGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

<table>
<tr><th colspan="2">项　　目</th><th>负荷开关柜</th><th>负荷开关熔断器柜</th></tr>
<tr><td colspan="2">额定电压(即最高电压)/kV</td><td>12</td><td>12</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定频率/Hz</td><td>50</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="3">额定电流/A</td><td>主母线</td><td rowspan="2">630、1 250</td><td rowspan="2">630、1 250</td></tr>
<tr><td>负荷开关</td></tr>
<tr><td>熔断器</td><td></td><td>≤125</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定短路耐受电流(4s)/kA</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">额定峰值耐受电流/kA</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">取决于熔断器</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定短路关合电流/kA</td></tr>
<tr><td rowspan="4">额定开断电流/A</td><td>有功负载电流</td><td colspan="2" rowspan="2">630</td></tr>
<tr><td>闭环回路电流</td></tr>
<tr><td>空载变压器</td><td colspan="2">1 250</td></tr>
<tr><td>电缆充电电流</td><td colspan="2">25</td></tr>
<tr><td colspan="2">最大开断电流/A</td><td colspan="2">5 000</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定开断交接电流/A</td><td></td><td>2 000</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定短路开断电流/kA</td><td></td><td>31.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">工频耐受电压(相间、对地/断口)/kV</td><td>42/48</td><td>42/48</td></tr>
<tr><td colspan="2">雷电冲击电压(相间、对地/断口)/kV</td><td>75/85</td><td>75/85</td></tr>
<tr><td colspan="2">防护等级</td><td>IP2X</td><td>IP2X</td></tr>
</table>

编号	001	002	003	004	005	006	007	008
一次线路图								
编号	009	010	011	012	013	014	015	016
一次线路图								

图 2-80　HXGN20—12 系列箱型固定式户内金属封闭开关设备一次线路方案

编号	017	018	019	020	021	022	023	024
一次线路图								
编号	025	026	027	028	029	030		
一次线路图								

图 2-80　HXGN20—12 系列箱型固定式户内金属封闭开关设备一次线路方案（续）

19. XGN4—12 系列箱型固定式

三相、50Hz、3 ~ 10kV 单母线带旁路系统中，接收与分配电能，可频繁操作；可派生出双母线结构产品。用 ZN28—10 系列真空断路器，配 CD17 系列电磁或 CT19 系列弹操机构，隔离开关用 GN30—10 型旋转式产品，也可用其他类型整体式真空断路器或 F-C 回路真空接触器。技术数据见表 2-76。柜内分主开关室、继电器室和小母线通道。柜顶设有压力释放通道，用于排泄电弧故障产生的燃气。

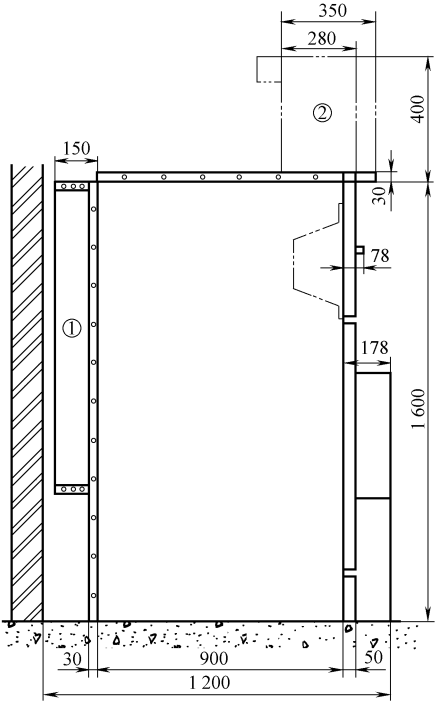


图 2-81　HXGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备外形安装尺寸

断路器室在柜内前部，真空断路器及操动机构为整体式，安装于柜前下部的手车架，车架两侧与柜体固定安装，断路器下端与出线侧隔离开关连接，上端与电流互感器连接，为固定接线。联屏母线位于柜内中上部，通过绝缘套管贯穿整列开关柜，呈垂直布置排列。进线侧隔离开关上端与母线连接，出线侧隔离开关安装在柜内后部，通过绝缘套管在柜顶架空引出或电缆引出。隔离开关操动机构，安装在柜前右侧，可同时操作两个隔离开关。一次线路方案见图 2-82，外形图 2-83。

表 2-76　XGN4—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参　　数	项　　目	参　　数
额定电压/kV	3.6、7.2、12	4s 热稳定电流/kA	16、20、25、31.5、40、50
额定电流/A	630、1 250、1 600、2 000、2 500、3 150	额定动稳定电流/kA 额定关合电流/kA	40、50、63、80、100、125
额定开断电流/kA	16、20、25、31.5、40、50	防护等级	IP2X

编号	001	002	003	004	005	006
一次线路图						

编号	007	008	009	010	011	012
一次线路图						

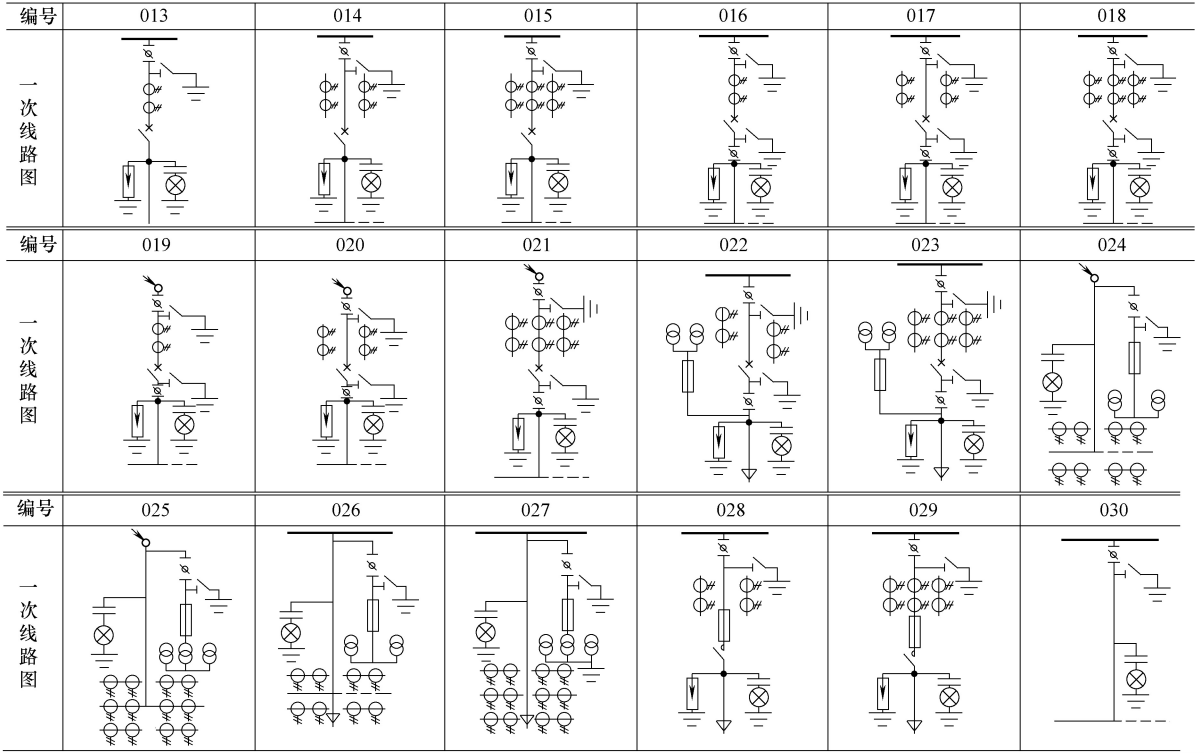
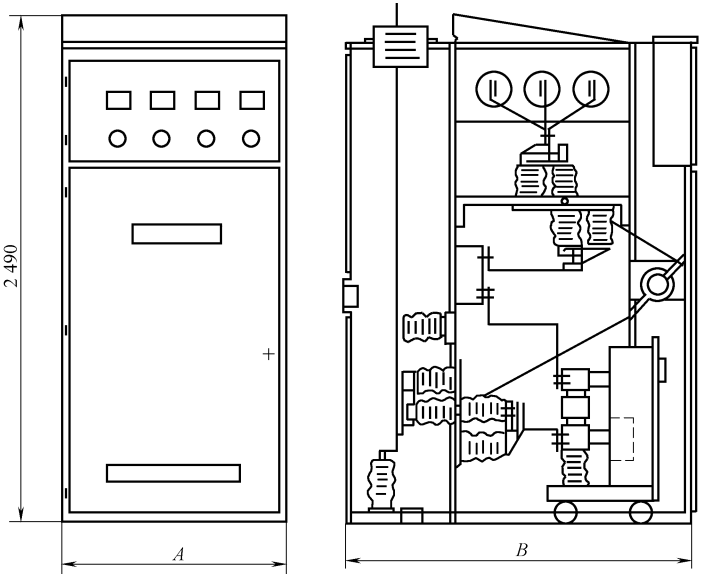


图 2-82　XGN4—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	031	032	033	034	035	036
一次线路图						
编号	037	038	039	040		
一次线路图						

图 2-82　XGN4—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）



（单位：mm）

额定电流	A(宽)	B(深)
630A 及以下	900	1 450①
1 000～1 250A	1 000	1 600
1 600A 及以上	1 100	1 600

图 2-83　XGN4—12 系列开关设备的外形

① 如与深 1 600mm 柜联屏时，为整齐美观应采用深 1 600mm 统一规格。

20. XGN4A—12 系列箱型固定式

三相、50Hz、3.6～12kV 单母线及单母线分段的户内成套开关装置，接收和分配电能，对电路控制、保护和监测。适用电厂、变电站及工矿、建筑等，也可与环网开关设备组合应用于开闭所中。技术数据见表 2-77。金属封闭固定间隔式结构，开关柜体被隔板分隔成母线室、继电器室、断路器室、电缆室和泄压通道。

用 VSI 或 VD4 断路器，断路器室在柜体中部。常规小电流柜断路器上端与上隔离开关连接，下端与电流互感器连接。断路器室有压力释放通道，内部发生故障电弧时，通过排气通道释放；母线室在柜体后上部，母线与上隔离开关连接。电缆室在柜体下部，电缆室内电压传感器可兼作支持绝缘

子，电缆固定在支架上。对主接线为联络方案时，本室则为母线联络室；继电器室在柜体上部前方，室内安装板安装继电器等。室内有端子排架，门上安装二次元件如指示仪表、信号元件等。继电器室上部为小母线室。

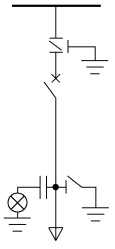
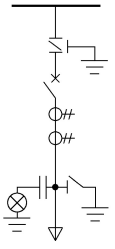
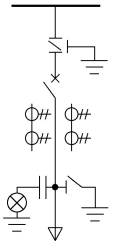
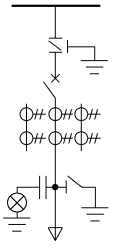
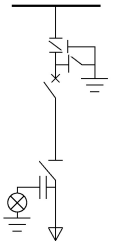
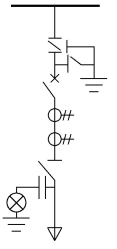
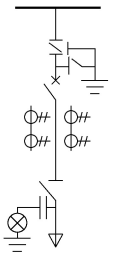
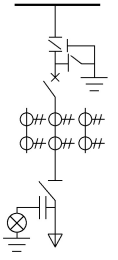
表 2-77　XGN4A—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目		参　　数		
额定电压/kV		12		
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压(有效值)/kV	42/48(隔断断口)		
	雷电冲击耐受电压(峰值)/kV	75/85(隔断断口)		
额定频率/Hz		50		
主母线额定电流/A		630	1 250	2 000、2 500、3 150
4s 额定短时间耐受电流/kA		20	21.5	40
额定峰值耐受电流/kA		50	80	100
外形尺寸/mm	电缆进出线	900×950×2 300		1 100×1 100×2 300
	架空进出线	900×1 425×2 300		1 100×1 575×2 300
外壳防护等级		IP3X		

开关柜为双面维护，前面检修继电器室的二次元件，维护断路器机构、机械联锁及传动部分，维修电缆终端。后面维修主母线和电流互感器，断路器室和电缆室装有照明灯。一次线路方案见图 2-84，外形见图 2-85。

21. XGN15—12 系列箱型固定式

三相、50Hz、12kV 电力系统中，接收和分配电能。用作环网供电和终端供电，也可作箱变高压侧设备。符合 GB/T 11 022、GB 3 906，具备“五防”功能。可配 FLN36—12D、FLN38—12D、FLN48—12 型二工位及三工位 SF_6 负荷开关或 FLRN36—12D 型 SF_6 负荷开关-熔断器组合电器，也可配进口 SFG 型负荷开关、HAD/US 型 SF_6 断路器或 VD4—S 型真空断路器，并可装配进口 ISM 系列永磁机构真空断路器、VB 系列真空断路器，技术数据见表 2-78。柜体紧凑；环网柜由母线室、负荷开关室、电缆室和低压控制室组成。主要隔室用钢板分离，以防故障扩大；负荷开关、接地开关、柜门之间用强制性机械联锁方式，实现“五防”；柜后装有泄压板，确保正面操作安全；负荷开关传动操作与机械联锁装置配合，机械联锁装置结构更加简单、动作可靠。柜前操作板上有模拟接线。一次线路方案见图 2-86，外形见图 2-87。

编号	001	002	003	004	005	006	007	008
一次线路图								

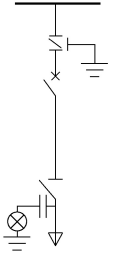
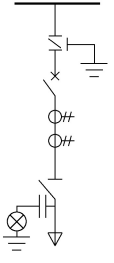
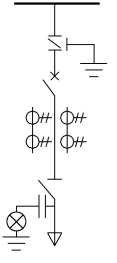
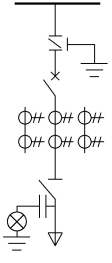
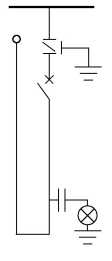
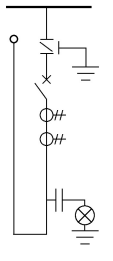
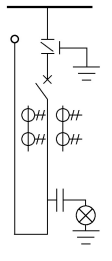
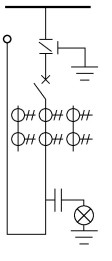
编号	009	010	011	012	013	014	015	016
一次线路图								

图 2-84　XGN4A—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	017	018	019	020	021	022	023	024
一次线路图								

编号	025	026	027	028	029	030	031	032
一次线路图								

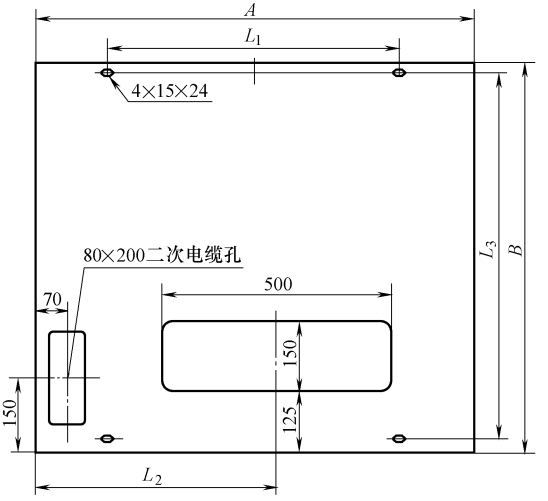
编号	033	034	035	036	037	038	039	040
一次线路图								
编号	041	042	043	044	045	046	047	048
一次线路图								

图 2-84　XGN4A—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

编号	049	050	051	052	053	054	055	056	057
一次线路图									

编号	058	059	060	061	062	063	064	065	067
一次线路图									

图 2-84　XGN4A—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）



（单位：mm）

柜宽 A	柜深 B	L_1	L_2	L_3
900	950 电缆	600	500	900
	1 325架空			
1 100	1 100电缆	650	600	1 050
	1 575架空			

图 2-85　XGN4A—12 系列开关设备的外形

表 2-78　XGN15—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	参　　数
额定电压/kV	12
额定频率/Hz	50
主母线额定电流/A	630
主电路、接地电路额定短时耐受电流(kA)/时间(s)	20/3
主电路、接地电路额定峰值耐受电流(峰值)/kA	50
主电路、接地电路额定短时关合电流/kA	50
负荷开关额定电流开断次数/次	100
额定转移电流/A	1 700
熔断器最大额定电流/A	125
熔断器开断电流/kA	31.5～50
机械寿命/次	2 000
1min 工频耐受电压相间、对地/隔离断口(有效值)/kV	42/48
雷电冲击耐受电压相间、对地/隔离断口(峰值)/kV	75/85
二次回路 1min 工频耐压/kV	2
防护等级	IP2X

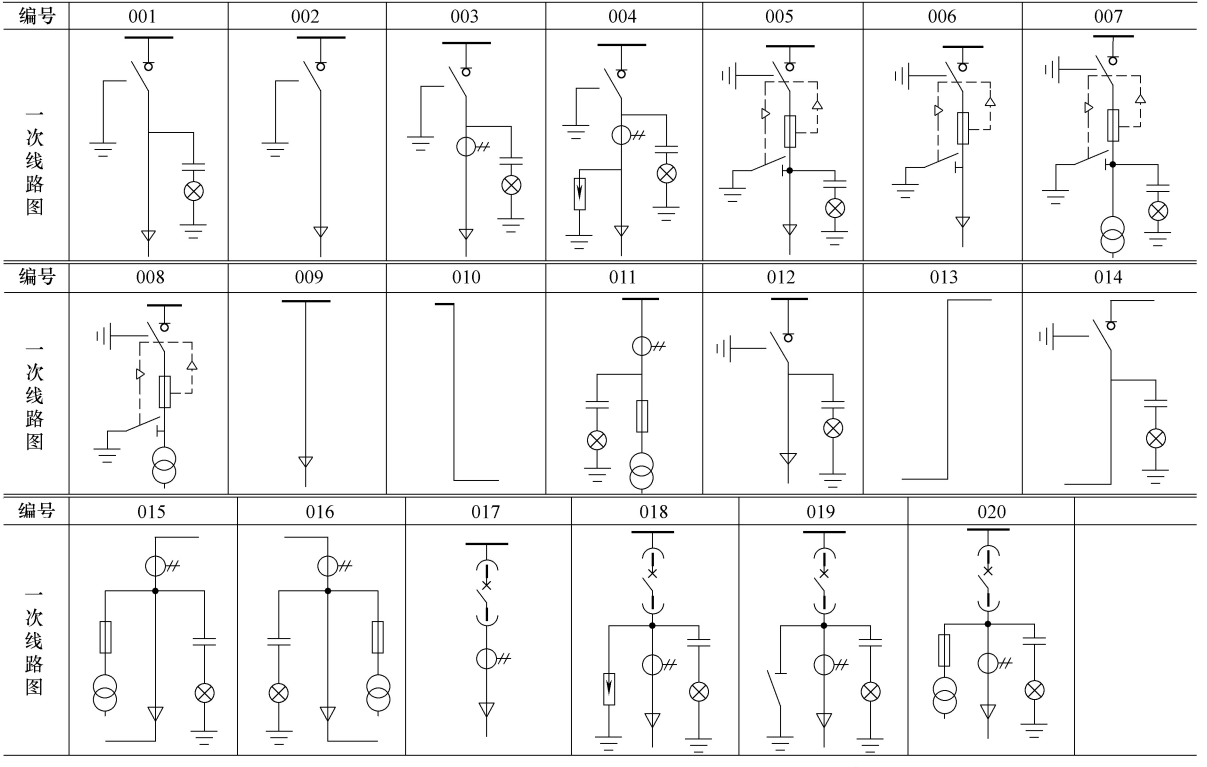


图 2-86　XGN15—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

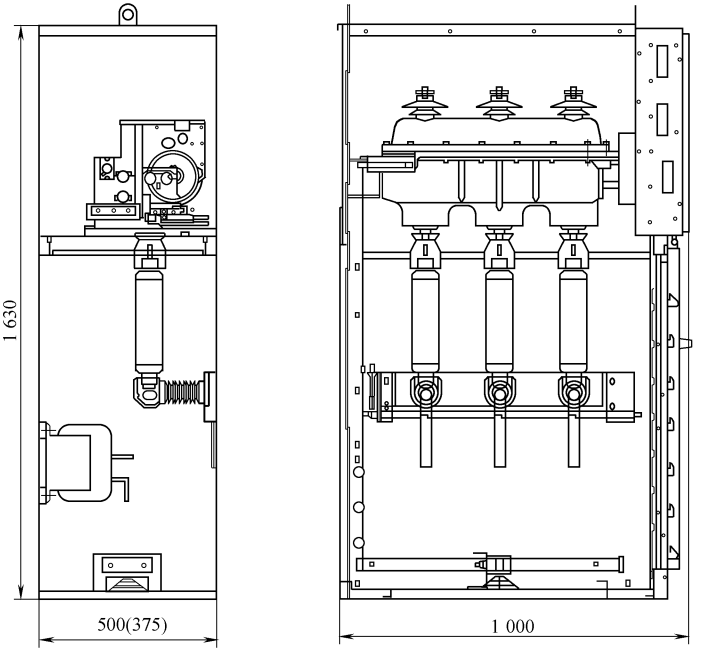


图 2-87　XGN15—12 系列开关设备的外形

22. XGN20—12 系列箱型固定式

引进 ABB 技术，三相、50Hz、12kV 配电系统中，用于变电站、工矿、高层建筑等。环网供电单元和终端设备接受、分配电能。技术数据见表 2-79。箱体由母线室、主开关、电缆室、操动机构、联锁机构和低压控制室组成，母线室布置在柜上部，母线室中主母线连接贯穿整排开关柜。开关室内装有 1 个三工位负荷开关，负荷开关外壳为环氧树脂浇注，充入 SF_6气体，有观察窗。开关室内装 SF_6气体密度表或带报警触点的气体密度器。

负荷开关柜电缆室空间大，单芯或 3 芯电缆可用最简单的非屏蔽电缆头连接，空间内可容纳避雷器、电流互感器、下接地开关等元件。按标准要求，柜门有观察窗和安全联锁装置。电缆室底板配密封盖和带支撑架相宜的缆夹。电缆室底板和门前框可拆，方便电缆安装。

表 2-79　XGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备技术数据

项　　目	负荷开关	组合电器①	项　　目		负荷开关	组合电器①
额定电压/kV	12		额定交接电流/A			1 700
额定电流/A	630	125	额定有功负载开断电流/A		630	
额定频率/Hz	50		额定闭环开断电流/A		630	
3s 额定短时耐受电流/kA	20		额定工频耐受电压(1min)/kV	相间对地	42	
额定峰值耐受电流/kA	50			隔离断口	48	
额定短路开断电流/kA		31.5	额定冲击耐受电压/kV	相间对地	75	
额定短路关合电流/kA		80(预期值)		隔离断口	85	
			机械寿命/次		2 000	
额定转移电流/kA		1 700	防护等级		IP3X	

① 负荷开关 + 熔断器。

带联锁的低压室可作控制盘，室内装有位置指示器的弹操机构和机械联锁装置，也可装设辅助触头、跳闸线圈、紧急呼救跳闸机构、电容式带电显示器、钥匙锁和电操装置，低压室空间还可装设控制电路、计量仪表和保护继电器，750mm 宽柜设 2 个相同低压室。开关柜可分上下两部分，上部为母线室、负荷开关、操动机构和低压室，与下部电缆室分隔。可安全、方便地对上部单元设备进行检修或改造。一次线路方案见图 2-88，外形见图 2-89。

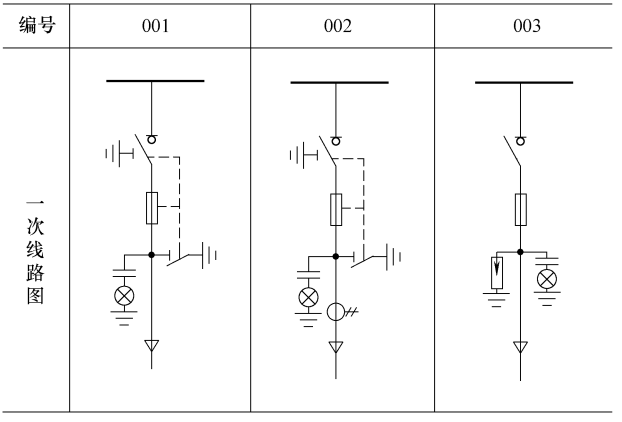


图 2-88　XGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案

编号	004	005	006
一次线路图			

图 2-88　XGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备一次线路方案（续）

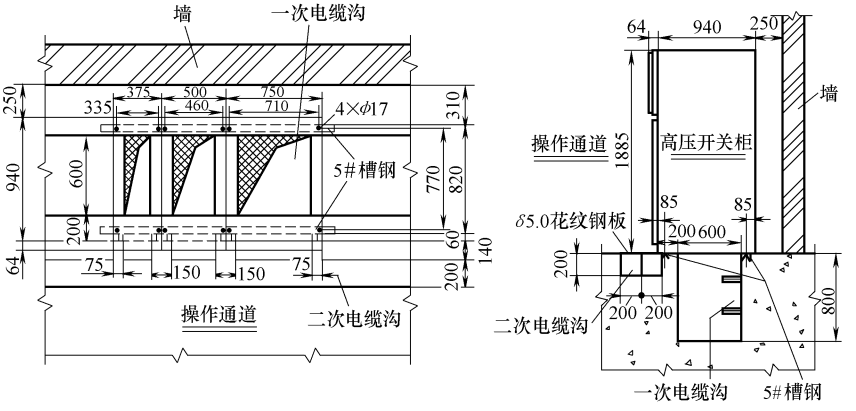


图 2-89　XGN20—12 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关设备的外形

四、高压成套设备运行维护

1. 投运前的检查

1）检查油漆有无脱落，柜内应保持清洁。

2）柜上安装的元件、零部件完好无缺；母线连接良好，支撑绝缘子安装牢固可靠；柜顶母线装配完好，母线之间连接紧密可靠，接触良好。

3）带电部分相间距离、对地距离符合规定；连接部分紧固、螺纹连接不松动或滑扣。

4）操作机构灵活，不得卡住，不允许操作力过大；断路器、隔离开关等设备通断可靠准确；控制开关、按钮及信号继电器型号规格与设计图样一致，接线正确、无松动脱落。

5）保护系统完整且符合规定；接地开关操作灵活，合分位置正确无误；柜体可靠接地，门开与关灵活；“五防”措施装置齐全、可靠。

6）二次电路保护元件型号选用、参数正确；仪表与互感器接线正确、计量符合规定；继电保护整定值符合规定，自动控制装置正确可靠，继电器动作无误；辅助触头接线符合图样要求，原理动作经过调试。

7）手车在柜外推动灵活，不得卡住；手车在工作位置，主回路触头与二次插头接触可靠；手车在柜内进出轻便，可靠定于“工作”与“试验”位置。

8）机械联锁装置可靠灵活、无卡阻；机械闭锁准确，柜内照明齐全、完好。油浸设备无渗油漏油；检查真空开关的真空度、SF_6 断路器不漏气；活动部位应按照规定注油。

9）控制、信号、照明电源接通；在隔离开关、断路器分闸状态时，给主母线送电；合上电压互感器开关柜的隔离开关，检查电压表读数；合上避雷器、站用变隔离开关及辅助开关，投入运行；依次合上馈线柜断路器，检查电流表读数。

2. 运行巡视与检查

1）每天定时检查；遇恶劣天气或配电运行异常时，需额外特殊检查巡视。无异常响声，室内温度、湿度正常。雨天要观察开关，排除电缆沟内积水。

2）断路器跳闸后必须立即检查柜内设备是否异常，并检查母线和金具的颜色是否正常，要准确判断不得出现过热现象；检查设备不得渗油漏油，油位、油色正常。

3）接地装置连接线牢固、无断线，控制器件设备运行正常；仪表、信号、指示正确。

4）柜内通风、照明、防火装置正常；开关室内不出现异常气味；断路器操作次数或跳闸次数在检修的规定内；防误装置、机械闭锁装置不得出现异常。

5）每隔一年对柜内绝缘隔板、活门、手车绝缘件、母线清洁处理；绝缘件不得受潮，可干燥处理。

3. 检修与维护

1）主母线与电缆连接件有过热变色，立即检修；控制、信号、照明电源正常；断路器操作次数或跳闸次数超过规定，必须进行预防性试验或检修。

2）检修程序锁和机械锁，应动作可靠，程序正确；断路器、隔离开关、操作机构必须按照规定检修、调试。

3）槛车电器接触部位接触良好，检测接地回路及紧固螺钉等。

4. 常见故障及排除（见表2-80）

表2-80　高压成套设备常见故障及排除

故　障	检　查
（1）各类环网柜	
负荷开关合不上	检查开关是否在分闸位置;闭锁装置是否在操作位置;顺时针方向转动操作把手,不得反方向
负荷开关不能分断	检查开关是否处于合闸状态;闭锁选择器是否在操作位置;逆时针方向转动操作把手
负荷开关不能运动到接地位置	检查开关是否处于分闸状态;闭锁选择器是否在试验或检查位置;顺时针方向转动操作把手
负荷开关不能从分闸位置运动到接地位置	检查开关是否处于接地状态;闭锁选择器是否在试验或检查位置;顺时针方向转动操作把手
电缆室门无法打开或关闭	检查门开关是否在接地状态;闭锁选择器是否在门打开位置
（2）电操负荷开关柜	
负荷开关不能合分	检查开关是否处于接地状态;闭锁选择器是否在操作位置;检查辅助电源是否接通
（3）负荷开关-熔断器组合柜	
负荷开关不能闭合	如果开关在分闸状态,说明熔断器已熔断,或电动操作机构在合闸操作前转动操作转动轴槽口已经朝下
未操作熔断器已熔断	检查熔断器安装状态,断开指示器应朝上位置
（4）线路开关柜	
电缆室门无法打开	检查开关是否处于接地状态;闭锁选择器是否在门打开位置;在门开或关之前取下线路开关钥匙
开关总是达不到合闸位置	给合闸弹簧施加全负荷,闭锁线圈不通电;检查线路开关钥匙应处于正确位置;线路开关辅助电源插头应插入专用插座
（5）仪用互感器	
互感器二次绕组不能测量	检查二次绕组的接线端子线路接触牢固;二次电路线路正确

第三章　电力变压器及供配电系统

第一节　电力变压器概述

电力变压器按用途分为升压变压器、降压变压器和配电变压器；按相数分为单相变压器、三相变压器；按绕组分为双绕组变压器和三绕组变压器；按绕组导体分为铜线变压器和铝线变压器；按调压方式分为无载调压变压器和有载调压变压器；按冷却方式分为自然冷却式、强迫风冷式、强迫油循环风冷式和强迫油循环水冷式等；按绝缘方式分为油浸式绝缘变压器和干式绝缘变压器。

一、型号

电力变压器的型号见图 3-1。如 SCZ（B）10-100/10 表示三相环氧树脂绝缘、有载调压、低压为箔式绕组、设计序号为 10 的干式变压器，额定容量 100kV・A；一次侧额定电压 10kV。

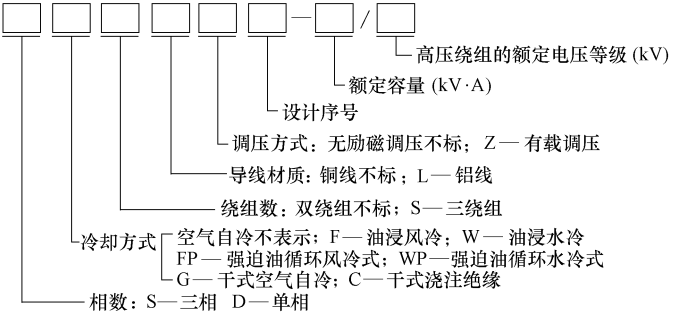


图 3-1　电力变压器型号

二、结构和部件

主体由铁心和绕组构成，绕组通电流，铁心通磁路，即绕组的骨架。油浸式变压器使用广泛，目前干式变压器发展迅速。油浸式变压器主要由油箱、器身和附件组成。

1. 油箱

油箱是变压器的外壳，是容纳绝缘和散热介质的容器。油箱有平顶式和

钟罩式两种。一般6 300kV·A 以下多用平顶式，8 000kV·A 以上多用钟罩式，容量大的器身太重，钟罩式油箱器身检修方便。中小型变压器油箱外壁有散热筋，大容量变压器油箱外附圆管形或扁管型散热器，散热器可安装风扇。铁心和绕组热量传给变压器油，热变压器油上升进入散热器管，冷却后流回油箱。大型变压器用油泵强迫油加速循环，提高冷却效果。

2. 器身

（1）铁心　用0.35～0.5mm 冷轧硅钢片叠成，每片硅钢片与绝缘漆，减少涡流。硅钢片交叉叠装法和渐开式结构。

（2）绕组　有铜线和铝线，铜线损耗小，低损耗变压器用铜线；绕制方式有同心式和交迭式。

① 同心式。低压绕组绕制成小圆筒形状，高压绕组绕制成大圆筒形状，套在低压绕组外面，套在同一铁心柱上；高、低压绕组间用绝缘纸隔开。大多数变压器采用同心式绕组结构。

② 交迭式。低压、高压绕组按一定交替次序套装在铁心柱上；高低压绕组之间的间隙多，绝缘结构复杂，但漏电抗小，机械强度高，引出线布置和焊接方便，常用于电炉变压器、电焊变压器等。

（3）绝缘结构

① 外绝缘。油箱外部绝缘，由瓷套管作为相与相、相与“地”间的绝缘。

② 内绝缘。油箱内部绝缘，包括绕组绝缘、引线绝缘和分接开关绝缘等。

3. 附件

（1）储油柜　装于油箱上部，与油箱相通。油箱中变压器油运行中热胀冷缩，储油柜可使油箱中始终充满油，与空气接触油面减小，减轻油的氧化和吸潮，可在与油箱的连管上安装气体继电器。储油柜下部有集泥器和排污阀，运行中要定时排放油泥和水分。

（2）吸湿器　储油柜上部的空气经呼吸管和吸湿器与外部大气相通。吸湿器内装有硅胶干燥剂，能吸去进入储油柜空气中的水分，保持变压器油良好的绝缘性能。

（3）油位计　装于储油柜侧面，用于观察油面高度。油位计刻有三条线，分别表示在最高环境温度（如+40℃）、正常环境温度（如+20℃）和最低环境温度（如-30℃）时应有的油面。

（4）防爆管　装于油箱顶盖上，管口用膜片密封住。在防爆管上部有连通管与储油柜相通，防止正常运行时防爆管膜片误爆或气体继电器误动

作。当变压器油箱内部故障时，油箱内压力快速升高，油气能冲破膜片而喷出，防止油箱变形或爆炸。

（5）气体继电器　装于储油柜与油箱连通管上。当变压器内部短路时，油箱中急剧产生的气体沿此连接管向储油柜方向冲击，气体继电器动作，发出信号或直接断开电源侧断路器，切除短路故障。当变压器油箱中油位突然下降时，动作发出信号警报。

（6）温度计　1 000kV · A 及以上容量变压器装有温度计，反映油箱上层油温。

（7）绝缘管套　变压器引出线穿过绝缘瓷套管，构成相与相、相与“地”的绝缘。

（8）分接开关　变压器高压侧绕组有分接头，改变电压比，调节低压侧电压。必须变压器停电后才可调节分接开关，一般用无励磁调压变压器；也有可带负荷调节的分接开关，为有载调压变压器，见图 3-2 和图 3-3。

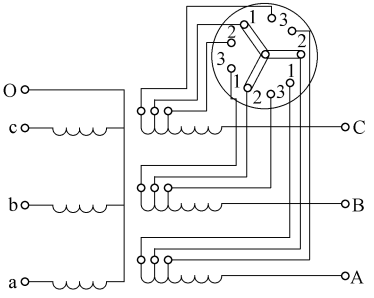


图 3-2　三相变压器分接头及连接

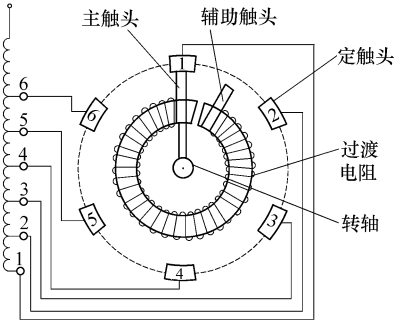


图 3-3　有载调压分接开关电路原理（一相）

三、技术参数

1. 额定容量 S_N

单位为 kV·A，额定条件下制造厂给出的允许长期安全输出功率，三相变压器指三相容量总和；对双绕组变压器，一次绕组和二次绕组容量相等，即等于变压器的额定容量。对三绕组变压器，高压绕组容量等于变压器额定容量，中、低压绕组容量不大于高压绕组容量。高、中、低压绕组容量之比为 100/100/100，100/100/50，100/100/66.7 或 100/66.7/100 等组合。

2. 额定电压 U_N

单位为 kV 或 V，变压器空载状态时高、低压绕组的标称电压，同时还标出分接头情况，以额定电压% 表示。

（1）普通无载调压变压器　当容量不大于6 300kV·A 时，为 $U_{1N}\pm5\%/U_{2N}$；容量不小于8 000kV·A 时，为 $U_{1N}\pm5\%/U_{2N}$或 $U_{1N}\pm2\times2.5\%/U_{2N}$；三绕组变压器则有 $U_{1N}\pm2\times2.5\%/U_{2N}\pm5\%/U_{2N}$或 $U_{1N}\pm2\times2.5\%/U_{2N}\pm2\times2.5\%/U_{3N}$等。

（2）有载调压变压器　电压不大于 110kV 等级，为 $U_{1N}\pm3\times2.5\%/U_{2N}$；电压不小于 220kV 等级，为 $U_{1N}\pm4\times2.5\%/U_{2N}$。还可有更多的分接头，如 $U_{1N}\pm8\times2.5\%/U_{2N}$等。

对升压变压器，低压侧额定电压等于发电机额定电压，高压侧额定电压比电网相应电压级额定电压高出 10%；对降压变压器，高压侧额定电压等于电网的额定电压，低压侧额定电压比下一级电网额定电压高出 10% 或 5%。

3. 额定电流 I_N

变压器绕组额定条件下允许长期安全通过的电流值。额定电流、额定电压和额定容量三者的关系是：$I_{1N}=S_N/\sqrt{3}U_{1N}$，$I_{2N}=S_N/\sqrt{3}U_{2N}$。

4. 额定频率 f_N

我国额定频率 50Hz。

5. 阻抗电压 $U_K\%$

变压器短路电压占额定电压的百分数，也称为短路电压百分数。短路电压是指二次侧短路并流过额定电流 I_{2N}时一次侧也流过额定电流 I_{1N}的电压，此时一次电压值为 U_{1N}的 4% ~14%。$U_K\%$ 表明变压器自身电抗，$U_K\%$ 小表

明变压器传输功率时产生的电压损失小，但有时限制二次侧短路电流，选用 U_k% 稍大的高阻抗变压器。

6. 短路损耗 P_k

短路试验中变压器二次侧短路并流过电流 I 时，一次侧输入的有功功率即为短路损耗 P_k，单位 kW。此功率主要消耗在一、二次绕组的电阻发热，因 U_k 低，变压器铁心磁密度小，铁损小，忽略不计。短路损耗 P_k 习惯地称为铜损。

7. 空载损耗 P_0

当变压器二次侧开路，一次侧加额定电压 U_{1N} 时，变压器的有功功率称为空载损耗 P_0，此时有功功率主要消耗在铁心的磁滞损耗、涡流损耗，铁心发热，称为铁损。

8. 空载电流 I_0%

一次电流 I_0 为空载电流。I_0 很小，约为一次侧额定电流的 1%，用 I_0% 表示，见图 3-4。

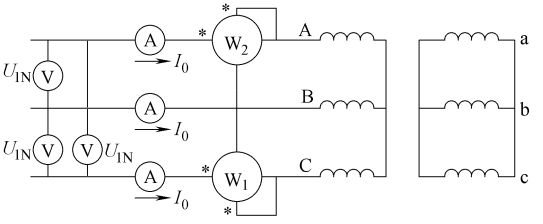


图 3-4　变压器空载试验图

9. 联结组标号

联结组标号表明一、二次各相绕组的联结方式及一、二次电压相位关系。三相变压器三相绕组间有 Y 联结、D 联结等。因联结方式不同，变压器一次侧相电压与二次侧对应相的相电压之间有相位差，均是 30°倍数，用时钟的时钟点表示。常用联结组别见图 3-5。

10. 使用

包括冷却方式、使用条件，如油浸空气自冷、风冷、强迫油循环风冷、强迫油循环水冷、强迫油导向循环风（水）冷等多种冷却方式。制造厂允许的安装使用的环境条件，如海拔、湿热带地区、户内或户外等。

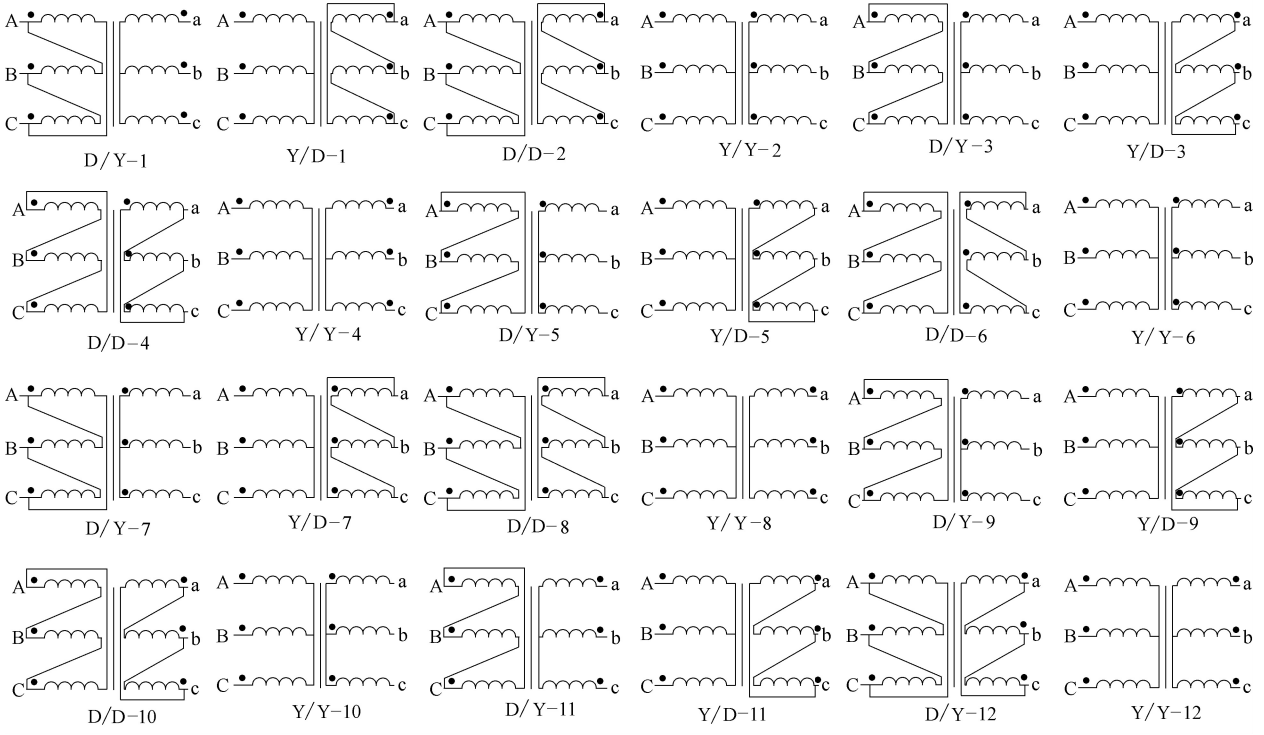


图 3-5　变压器联结组标号

第二节　电力变压器的选择与安装

一、选择原则

1. 工厂容量选择

变压器选择的容量要适合。如太大，得不到充分利用，功率因数下降，线路与变压器本身损耗大，效率低；如太小，负载能力不够。一般按以下公式选择：

变压器选容量 =（用电设备总容量 × 同时率）÷（用电设备功率因数 × 用电设备效率）　　(3-1)

其中同时率为同一时间投入运行的设备实际容量与用电设备总容量的比值，取 0.7，用电设备功率因数取 0.8 ~ 0.9；用电设备效率取 0.85 ~ 0.9。

2. 农村配电变压器容量选择

$$变压器选容量 = K_p K_d P_N + K_p K_d P_{av} N \qquad (3\text{-}2)$$

式中　K_p——同时系数，南方电力排灌站取 1.0，北方井灌取 0.85，农村生活用电取 0.5；

P_N——电动机铭牌额定功率（kW）；

P_{av}——农村村民每户平均用电负荷，一般取 3 ~ 5kW；

N——农村村民总户数。

二、型号选择

1. 10kV 级 S9 系列电力变压器

用于 50Hz 输配电系统中，用作变换电压、分配电能。其技术数据见表 3-1。

表 3-1　10kV 级 S9 系列电力变压器技术数据

型号	额定容量/kV·A	额定电压/kV		联结组标号	阻抗电压（%）	空载电流（%）	损耗/kW		长/mm × 宽/mm × 高/mm	轨距/mm
		高压	低压				空载	负载		
S9—30/10	30	6、6.3、10、10.5、11	0.4	Yyn0 或 DYn11 Yyn11	4	2.1	0.13	0.60	990 × 650 × 1 140	400
S9—50/10	50					2.0	0.17	0.87	1 070 × 690 × 1 190	
S9—63/10	63					1.9	0.20	1.04	1 090 × 710 × 1 210	550
S9—80/10	80					1.8	0.24	1.25	1 210 × 700 × 1 370	
S9—100/10	100					1.6	0.29	1.50	1 220 × 800 × 1 400	
S9—125/10	125					1.5	0.34	1.80	1 310 × 850 × 1 430	
S9—160/10	160					1.4	0.40	2.20	1 340 × 870 × 1 460	
S9—200/10	200					1.3	0.48	2.60	1 380 × 980 × 1 490	

（续）

型号	额定容量/kV·A	额定电压/kV		联结组标号	阻抗电压（%）	空载电流（%）	损耗/kW		长/mm×宽/mm×高/mm	轨距/mm
		高压	低压				空载	负载		
S9—250/10	250	6、6.3、10、10.5、11	0.4	Yyn0或DYn11 Yyn11	4	1.2	0.56	3.05	1 410×1 000×1 540	660
S9—315/10	315					1.1	0.67	3.65	1 460×1 010×1 580	
S9—400/10	400				4.5	1.0	0.80	4.30	1 500×1 230×1 630	
S9—500/10	500					1.0	0.96	5.10	1 570×1 250×1 670	
S9—630/10	630					0.9	1.20	6.20	1 850×1 530×1 980	820
S9—800/10	800					0.8	1.40	7.50	2 200×1 550×2 320	
S9—1 000/10	1 000					0.7	1.70	10.30	2 280×1 560×2 480	
S9—1 250/10	1 250					0.6	1.95	12.00	2 310×1 910×2 630	
S9—1 600/10	1 600					0.6	2.40	14.50	2 350×1 950×2 700	

2. 10kV 级 SZ9 系列有载调压电力变压器

在配电系统中，当电压发生波动，可在带载时自动稳定输出电压。其技术数据见表 3-2。

表 3-2　10kV 级 SZ9 系列有载调压电力变压器技术数据

型号	额定容量/kV·A	额定电压/kV		联结组标号	阻抗电压（%）	空载电流（%）	损耗/kW		长/mm×宽/mm×高/mm
		高压	低压				空载	负载	
SZ9—250/10	250	6、6.3、10、10.5、11	0.4	Yyn0	4	1.5	0.61	3.09	1 410×1 100×1 560
SZ9—315/10	315					1.4	0.73	3.60	1 460×1 120×1 600
SZ9—400/10	400					1.3	0.37	4.40	1 500×1 340×1 650
SZ9—500/10	500					1.2	1.04	5.25	1 570×1 360×1 690
SZ9—630/10	630				4.5	1.1	1.27	6.30	1 880×1 640×2 000
SZ9—800/10	800					1.0	1.51	7.56	2 200×1 550×2 420
SZ9—1 000/10	1 000					0.9	1.78	10.50	2 280×1 560×2 580
SZ9—1 250/10	1 250					0.8	2.08	12.00	2 310×1 910×2 730
SZ9—1 600/10	1 600					0.7	2.54	14.70	2 350×1 950×2 840
SZ9—5 000/10	5 000	11±4×2.5%	3.15	Yd11	5.5	0.7	6.15	31.40	2 840×2 350×3 030
SZ9—6 300/10	6 300		6.3			0.7	7.21	35.10	3 020×2 420×3 190

3. SH11—M 及 SH16—M 型非晶合金配电变压器

SH11—M 型非晶合金配电变压器，比硅钢片铁心变压器的空载下降 70%～80%。该类型变压器采用全封闭结构，低压侧用铜箔绕组，DYn11 联结组，减少谐波对电网的影响，真空注油，绝缘稳定。SH11—M 型的技术数据见表 3-3，绝缘水平见表 3-4；SH16—M 型的技术数据见表 3-5。

表 3-3 SH11—M 型非晶合金配电变压器技术数据

型号	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/kW	空载电流(%)	阻抗电压(%)	长/mm×宽/mm×高/mm	油重/kg	总重/kg
	高压/kV	分接范围(%)	低压/kV								
SH11—M—50/10	6 6.3 6.6 10 10.5 11	±2×2.5、3×2.5、-1×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	43	0.87	1.30	4	945×1 040×620	160	680
SH11—M—100/10					75	1.5	1.00	4	1 055×1 070×766	190	890
SH11—M—160/10					100	2.2	0.70	4	1 280×1 195×920	290	1 170
SH11—M—200/10					120	2.6	0.70	4	1 240×1 200×920	270	1 230
SH11—M—250/10					140	3.05	0.70	4	1 340×1 200×940	300	1 400
SH11—M—315/10					170	3.65	0.50	4	1 255×1 200×920	302	1 540
SH11—M—400/10					200	4.3	0.50	4	1 370×1 260×1 120	360	1 720
SH11—M—500/10					240	5.15	0.50	4	1 370×1 330×1 120	355	2 000
SH11—M—630/10					320	6.2	0.50	4.5	1 520×1 355×1 185	440	2 400
SH11—M—800/10					380	7.5	0.30	4.5	1 885×1 470×1 215	630	2 950
SH11—M—1 000/10					450	10.3	0.30	4.5	1 955×1 550×1 310	680	3 500
SH11—M—1 250/10					530	12	0.30	4.5	2 025×1 660×1 310	790	4 100
SH11—M—1 600/10					630	14.5	0.20	4.5	2 530×1 795×1 345	1 105	5 550
SH11—M—2 000/10					750	17.4	0.20	5	2 080×1 965×1 540	1 310	6 150
SH11—M—2 500/10					900	20.2	0.20	5	2 560×2 375×1 685	1 990	8 600

表 3-4 SH11—M 型非晶合金配电变压器绝缘水平

电压等级/kV	设备最高电压有效值/kV	额定短时(1min)工频耐压有效值/kV	额定雷击耐压全波峰值/kV
≤1	≤1.1	5	—
6	7.2	25	75
10	12	35	95

表 3-5　SH16—M 型非晶合金配电变压器技术数据

型号	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/kW	空载电流(%)	阻抗电压(%)	长/mm×宽/mm×高/mm	油重/kg	总重/kg
	高压/kV	分接范围(%)	低压/kV								
SH16—M—50/10	6 6.3 6.6 10 10.5 11 (20)	±2×2.5、3×2.5、−1×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	38	0.87	0.9	4	950×1 040×620	160	680
SH16—M—100/10					58	1.5	0.7	4	1 060×1 070×760	190	890
SH16—M—160/10					78	2.2	0.5	4	1 060×1 150×930	250	1 190
SH16—M—200/10					98	2.6	0.5	4	1 110×1 170×930	270	1 300
SH16—M—250/10					110	3.05	0.5	4	1 180×1 180×1 010	300	1 460
SH16—M—315/10					130	3.65	0.4	4	1 180×1 180×1 010	240	1 400
SH16—M—400/10					160	4.3	0.4	4	1 200×1 180×1 010	280	1 660
SH16—M—500/10					190	5.15	0.4	4	1 270×1 200×1 160	300	1 950
SH16—M—630/10					230	6.2	0.3	4.5	1 450×1 330×1 240	480	2 450
SH16—M—800/10					280	7.5	0.3	4.5	1 520×1 460×1 380	520	2 900
SH16—M—1 000/10					330	10.3	0.3	4.5	1 720×1 510×1 460	680	3 500
SH16—M—1 250/10					390	12	0.2	4.5	1 785×1 690×1 330	800	3 980
SH16—M—1 600/10					470	14.5	0.2	4.5	1 880×1 970×1 380	850	5 300
SH16—M—2 000/10					570	17.4	0.2	5	2 080×1 965×1 540	1 310	6 150
SH16—M—2 500/10					680	20.2	0.2	5	2 400×2 350×1 500	1 850	8 200

4. SH11 系列非晶合金电力变压器（见表 3-6）

5. SCB10 型干式变压器

它为非晶合金干式配电变压器，空载损耗低、无油、阻燃自熄、耐潮、抗裂、免维护。低压侧为铜箔绕制绕组，高压绕组用 H 级高强度漆包线绕制，采用玻璃纤维加强的环氧树脂结构，耐潮、抗裂。铁心由非晶合金带材卷制，矩形截面，四框五柱或三框三柱结构。技术数据见表 3-7，外形尺寸及重量见表 3-8。

表 3-6 SH11 系列非晶合金电力变压器技术数据

型号	损耗/kW		短路阻抗(%)	空载电流(%)	器身重/kg	油重/kg	总重/kg	长/mm×宽/mm×高/mm
	空载	负载						
SH11—100/10	0.08	1.50	4	0.9	155	155	755	1 240×585×955
SH11—125/10	0.09	1.80		0.8	170	170	860	1 300×655×1 005
SH11—16 010	0.13	2.20		0.7	630	210	995	1 315×690×1 075
SH11—200/10	0.14	2.60		0.6	750	260	1 150	1 405×740×1 095
SH11—250/10	0.16	3.05		0.6	855	280	1 335	1 500×805×1 125
SH11—315/10	0.19	3.65		0.5	1 020	300	1 550	1 615×875×1 165
SH11—400/10	0.23	4.30		0.5	1 285	415	2 010	1 720×940×1 200
SH11—500/10	0.27	5.10		0.4	1 565	485	2 350	1 845×1 015×1 235
SH11—630/10	0.32	6.20	4.5	0.4	1 865	560	2 825	1 955×1 105×1 275
SH11—800/10	0.39	7.50		0.4	2 070	610	3 100	2 065×1 185×1 295
SH11—1 000/10	0.45	10.30		0.3	2 370	705	2 815	2 155×1 260×1 335
SH11—1 250/10	0.55	12.80		0.3	2 455	790	3 250	2 240×1 330×1 350
SH11—1 600/10	0.66	14.20		0.3	2 830	915	3 700	2 305×1 450×1 455

表 3-7 SCB10 型非晶合金干式变压器技术数据

容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	空载电流(%)	负载损耗(120℃)/W	阻抗电压(120℃)(%)
	高压	分接范围(%)	低压					
100	6 6.3 10 10.5 11	±2×2.5、 +3×2.5、 −1×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	130	0.8	1 570	4
160					170	0.8	2 125	
200					200	0.7	2 525	
250					230	0.7	2 755	
315					280	0.6	3 470	
400					300	0.6	3 985	
500					360	0.6	4 880	
630					420	0.5	5 875	
800					480	0.5	6 955	6
1 000					550	0.4	8 125	
1 250					660	0.4	9 690	
1 600					750	0.4	11 730	

注：联结组标号 Yyn0 适用于容量不大于 400kV·A 的变压器。

表 3-8 SCB10 型非晶合金干式变压器的外形尺寸及重量

型　　号	长/mm×宽/mm×高/mm	重量/kg
SCB10—400/10	1 430×970×1 210	1 800
SCB10—500/10	970×1 380×1 265	2 150
SCB10—630/10	970×1 275×1 130	2 530

（续）

型　　号	长/mm × 宽/mm × 高/mm	重量/kg
SCB10—800/10	970 × 1 490 × 1 215	3 000
SCB10—1 000/10	970 × 1 520 × 1 335	3 400
SCB10—1 250/10	1 070 × 1 605 × 1 365	4 020
SCB10—1 600/10	1 070 × 1 780 × 1 455	5 780

6. 单相油浸式非晶合金电力变压器

5 ~ 160kV · A 单相油浸式非晶合金电力变压器技术数据，见表 3-9。

表 3-9　5 ~ 160kV · A 单相油浸式非晶合金电力变压器技术数据

额定容量/kV · A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流（%）	短路阻抗（%）
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV					
5	6、6.3、6.6、10、10.5、11	±5、±2 × 2.5	2 × (0.22 ~ 0.24) (0.22 ~ 0.24)	Li0 Li6	15	130	2.4	3.5
10					18	235	2.2	
16					22	330	2.0	
20					25	385	1.8	
30					30	560	1.6	
40					35	700	1.4	
50					40	855	1.2	
63					50	1 020	1.0	
80					60	1 260	0.9	
100					70	1 485	0.8	
125					85	1 755	0.7	
160					100	2 130	0.7	

7. 三相油浸式非晶合金电力变压器

30 ~ 2 500kV · A 单相油浸式非晶合金电力变压器的技术数据见表 3-10。

表 3-10　30 ~ 2 500kV · A 单相油浸式非晶合金电力变压器的技术数据

额定容量/kV · A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流（%）	短路阻抗（%）
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV					
30	6、6.3、6.6、10、10.5、11	±5、±2 × 2.5	0.4	Dyn11	33	600	1.7	4.0
50					43	870	1.3	
63					50	1 040	1.2	
80					60	1 250	1.1	
100					75	1 500	1.0	
125					85	1 800	0.9	
160					100	2 200	0.7	
200					120	2 600	0.7	

（续）

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流（%）	短路阻抗（%）
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV					
250	6、6.3、6.6、10、10.5、11	±5、±2×2.5	0.4	Dyn11	140	3 050	0.7	4.0
315					170	3 650	0.5	
400					200	4 300	0.5	
500					240	5 150	0.5	
630					320	6 200	0.3	4.5
800					380	7 500	0.3	
1 000					450	10 300	0.3	
1 250					530	12 000	0.2	
1 600					630	14 500	0.2	
2 000					750	17 400	0.2	5.0
2 500					900	20 200	0.2	
2 000					750	19 140	0.2	
2 500					900	22 220	0.2	

8. 三相干式非晶合金电力变压器

30～2 500kV·A 三相干式非晶合金电力变压器的技术数据见表 3-11。

表 3-11　30～2 500kV·A 三相干式非晶合金电力变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W			空载电流（%）	短路阻抗（%）
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV			100℃（B级）	120℃（F级）	145℃（级）		
30	6、6.3、6.6、10、10.5、11	±5、±2×2.5	2×(0.22～0.24)或(0.22～0.24)	Dyn11	70	670	710	760	1.6	4.0
50					90	940	1 000	1 070	1.4	
80					120	1 290	1 380	1 480	1.3	
100					130	1 480	1 570	1 690	1.2	
125					150	1 740	1 850	1 980	1.1	
160					170	2 000	2 130	2 280	1.1	
200					200	2 370	2 530	2 710	1.0	
250					230	2 590	2 760	2 960	1.0	
315					280	3 270	3 470	3 730	0.9	
400					310	3 750	3 990	4 280	0.8	
500					360	4 590	4 880	5 230	0.8	
630					420	5 530	5 880	6 290	0.7	6.0
630					410	5 610	5 960	6 400	0.7	
800					480	6 550	6 960	7 460	0.7	
1 000					550	7 650	8 130	8 760	0.6	
1 250					650	9 100	9 690	10 370	0.6	
1 600					760	11 050	11 730	12 580	0.6	
2 000					1 000	13 600	14 450	15 560	0.5	
2 500					1 200	16 150	17 170	18 450	0.5	
1 600					760	12 280	12 960	13 900	0.6	8.0
2 000					1 000	152 020	15 960	17 110	0.5	
2 500					1 200	17 760	18 890	20 290	0.5	

9. 20kV 级 SC（B）系列三相绝缘树脂干式配电变压器（见表 3-12）

表 3-12　20kV 级 SC（B）系列三相绝缘树脂干式配电变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W			空载电流（%）	阻抗电压（%）	声级 L_{PA}/dB
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV			75℃	120℃	145℃			
160	18、20、22	±5、±2×2.5	0.4	Yyn0 Dyn11	680	2 180	2 500	2 670	1.4	6	50
200					780	2 570	2 950	3 150	1.2		50
250					900	2 820	3 240	3 470	1.2		50
315					1 140	3 940	4 000	4 280	1.0		50
400					1 300	4 270	4 900	5 240	1.0		52
500					1 550	5 320	6 000	6 420	1.0		52
630					1 760	6 200	7 100	7 600	0.7		52
800					2 070	7 330	8 400	9 000	0.7		54
1 000					2 340	8 550	9 800	10 500	0.7		54
1 250					2 740	10 300	11 800	12 600	0.6		54
1 600					3 170	12 400	14 300	15 300	0.6		54
2 000					3 900	15 000	17 200	18 400	0.5		56
2 500					4 700	17 900	20 500	22 000	0.5		56

10. D12 系列单相配电变压器

单相柱上式配电变压器特别适用于城网和农网的节能改造，如城乡照明、农村用电，节能效果显著，低损耗、低噪声、基建投资少。铁心为壳式结构，空载损耗低、空载电流小；铁心用新型结构及特种双 H 胶粘工艺，降低噪声，油箱外壳为冲压和卷制工艺，美观；柱上式悬挂安装，体积小，减小低压供电半径，可降低低压线损 60% 以上；全封闭结构，过负荷能力大，连续运行可靠性高，维护简单。其技术数据见表 3-13。

表 3-13　D12 系列单相配电变压器的技术数据

型号	额定容量/kV·A	额定电压		空载损耗/W	负载损耗/kW	空载电流（%）	短路阻抗	长/mm×宽/mm×高/mm	重量/kg	
		高压/kV	低压/kV						油重+器身	总重
D2—10/10	10	10	0.23	57	240	2.0	3.5	590×450×1 030	39+100	170
D2—20/10	20			93	380	1.8		590×450×1 065	42+110	195
D2—30/10	30			122	500	1.6		590×450×1 110	48+140	250
D2—50/10	50			160	660	1.4		630×500×1 160	62+215	335
D2—63/10	63			190	810	1.3		630×500×1 220	70+240	370
D2—75/10	75			230	970	1.2		630×500×1 285	80+225	410
D2—100/10	100			270	1 170	1.1		670×550×1 340	90+270	440
D2—125/10	125			310	1 440	1.0	4.0	670×550×1 390	110+285	480
D2—160/10	160			400	1 670	0.9		670×550×1 450	130+310	540

11. S9—M 系列全密封波纹油箱配电变压器（见表 3-14）

表 3-14　S9—M 系列全密封波纹油箱配电变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/kW	负载损耗/kW	空载电流(%)	阻抗电压(%)	轨距/mm	长/mm×宽/mm×高/mm
	高压/kV	分接范围(%)	低压/kV							
30	6、6.3、10.5、11	±5	0.4	Yyn0 Dyn11	0.13	0.60	2.1	4	400	1 040×660×1 030
50					0.17	0.87	2.0		400	1 090×675×1 080
63					0.20	1.04	1.9		400	1 115×680×1 090
80					0.24	1.25	1.8		400	1 145×690×1 100
100					0.29	1.50	1.6		440	1 195×720×1 110
125					0.34	1.80	1.5		550	1 240×730×1 135
160					0.40	2.20	1.4		550	1 300×735×1 155
200					0.48	2.60	1.3		550	1 302×740×1 235
250					0.56	3.05	1.2		550	1 358×783×1 201
315					0.67	3.65	1.1		660	1 462×822×1 320
400					0.80	4.30	1.0	4.5	660	1 505×850×1 390
500					0.96	5.10	1.0		660	1 521×851×1 391
630					1.20	6.20	0.9		660	1 608×878×1 590
800					1.40	7.50	0.8		820	1 750×970×1 590
1 000					1.70	10.3	0.7		820	1 820×1 015×1 635
1 250					1.95	12.0	0.6		820	1 880×1 140×1 770
1 600					2.40	14.5	0.6		820	1 970×1 160×1 820

12. S9B 系列箔式线圈低损耗电力变压器（见表 3-15）

表 3-15　S9B 系列箔式线圈低损耗电力变压器的技术数据

额定容量/kV·A	额定电压/kV		联结组标号	阻抗电压(%)	空载电流(%)	损耗/W		长/mm×宽/mm×高/mm	轨距/mm
	高压	低压				空载	负载		
315	6、6.3、10	0.4	Yyn0	4	1.1	670	3 650	1 460×880×1 540	550
315				4	1.1	670	3 650	1 330×1 040×1 540	550
400				4	1.0	800	4 300	1 420×1 050×1 610	660
500				4	1.0	960	5 100	2 180×1 070×1 650	660
630				4.5	0.9	1 200	6 200	1 600×1 100×1 705	660
630				4.5	0.6	1 200	6 200	1 600×1 154×1 705	660
800				4.5	0.8	1 400	7 500	1 870×1 120×1 960	660
1 000				4.5	0.7	1 700	10 300	2 290×1 420×2 000	820
1 250				4.5	0.6	1 750	12 000	2 570×1 450×2 070	820
1 600				4.5	0.6	2 400	14 500		

13. 10kV 级 S11 系列配电变压器（见表 3-16）

表 3-16　10kV 级 S11 系列配电变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合及分接范围			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流(%)	短路阻抗(%)
	高压/kV	分接范围(%)	低压/kV					
30	10	±5	0.4	Dyn11	100	630/600	2.3	4.0
50					130	910/870	2.0	
63					150	1 090/1 040	1.9	
80					180	1 310/1 250	1.9	
100					200	1 580/1 500	1.8	
125					240	1 890/1 800	1.7	
160					280	2 310/2 200	1.6	
200					340	2 730/2 600	1.5	
250					400	3 200/3 050	1.4	
315					480	3 830/3 650	1.4	
400					570	4 520/4 300	1.3	
600					680	5 410/5 150	1.2	
630					810	6 200	1.1	4.5
800					980	7 500	1.0	
1 000					1 150	10 300	1.0	
1 250					1 360	12 000	0.9	
1 600					1 640	14 500	0.8	

14. SZ11—T 系列有载调容配电变压器（见表 3-17）

表 3-17　SZ11—T 系列有载调容配电变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合及分接范围			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流(%)	短路阻抗(%)
	高压	分接范围(%)	低压/kV					
160(50)	10、10.5、11	±4×2.5、±3×2.5、±2×2.5	0.4	Yyn0 Dyn11	280(130)	2 600(1 030)	1.6(0.8)	4.0(4.0)
200(63)					340(150)	3 060(1 230)	1.5(0.7)	
250(80)					400(180)	3 600(1 480)	1.4(0.7)	
315(100)					480(1 200)	4 320(1 770)	1.4(0.7)	
400(125)					570(240)	5 220(2 130)	1.3(0.6)	
500(160)					680(280)	6 210(2 600)	1.2(0.6)	
630(200)					810(340)	7 650(3 060)	1.1(0.5)	4.5(4.0)

15. S11—M. R 系列卷铁心配电变压技术数据（见表 3-18）

表 3-18 S11—M. R 系列卷铁心配电变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合及分接范围			联结组标号	短路阻抗（%）	空载电流（%）	损耗/W		重量/kg		
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV				空载	负载	器身	油	总重量
30	10	±5	0.4	Yyn0	4.0	0.8	100	600	165	86	358
50						0.75	130	870	240	112	477
63						0.75	150	1 040	285	126	550
80						0.7	180	1 250	320	137	602
100						0.65	200	1 500	384	159	665
125						0.65	240	1 800	426	170	780
160						0.6	280	2 200	505	193	900
200						0.5	340	2 600	582	217	1 020
250						0.5	400	3 050	690	251	1 175
315						0.45	480	3 650	805	270	1 335
400						0.45	570	4 300	970	309	1 570
500						0.4	680	5 100	1 115	334	1 775
630					4.5	0.4	810	6 200	1 260	452	2 195
800						0.35	980	7 500	1 480	515	2 530
1 000						0.35	1 150	10 300	1 590	573	2 805
1 250						0.3	1 360	12 800	—	—	—
1 600						0.3	1 640	14 500	—	—	—

16. D11 系列单相油浸式电力变压器（见表 3-19）

表 3-19 D11 系列单相油浸式电力变压器的技术数据

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流（%）	短路阻抗（%）
	高压/kV	分接范围（%）	低压/kV					
5	6、6.3、10、10.5、11	±5、±2×2.5	2×（0.22～0.24）、（0.22～0.24）	Li0 Li6	35	145	4.0	3.5
10					55	260	3.5	
16					65	365	3.2	
20					80	430	3.0	
30					100	625	2.8	
40					125	775	2.5	
50					150	950	2.3	
63					180	1 135	2.1	
80					200	1 400	2.0	
100					240	1 650	1.9	
125					285	1 950	1.8	
160					365	2 365	1.7	

三、类型选择

1. 干式电力变压器

（1）特点　由铁心和绕组等构成的器身不浸在变压器油中，直接接触空气，干式自冷型，或和密封的固体绝缘接触如环氧浇注型。它分为普通结构型和环氧浇注型两种。

1）无油、无污染、难燃、阻燃及自熄防火，没有火灾和爆炸危险。

2）绝缘等级高，进一步提高了变压器的过载能力和使用寿命。

3）损耗低、效率高；噪声不大于50dB；局部放电量小，可靠性高，长期安全运行；配备完善的温度保护控制系统，为变压器安全运行提供了可靠保障。

4）抗裂、抗温度变化，机械强度高、抗突发短路强；防潮性能好，停运后不需干燥处理即可投入运行。

5）体积小、重量轻，不需单独的变电室，安装便捷，无须调试，运行维护成本低。干式变压器铁心和绕组外露，不采用液体绝缘；结构简单，维护检修方便；采用阻燃性绝缘材料，应用于安全运行要求较高的场合。

（2）干式变压器的起动

1）安装结束并验收后，应带电连续试运行24h。

2）分接开关符合运行要求，若为无励磁分接开关，在调好运行分接位置后，测量该分接位置绕组的直流电阻并符合规定；接地部分接触可靠，设备中及带电部分无杂物；所有保护装置全部投入，空载合闸5次，第1次带电时间不小于10min且无异常。

3）变压器并列运行时必须核对相位；带电将有载分接开关操作一个循环，逐级控制正常，电压调节范围与铭牌相符。

4）温控开关整定符合要求，温控、温度显示应一致；冷却装置自起动并运转正常。

5）在高湿度投运时，绕组外表无凝霜；投运操作时，中性点有效接地系统中的中性点必须先接地，投入后，可按系统需要决定中性点是否断开。

（3）运行中巡视检查

1）绝缘子、绕组底部和端部无积尘；绕组绝缘表面无龟裂、爬电和炭化痕迹；紧固部件无松动、发热，声音正常。

2）采用自然空气冷却时，可连续输出100%容量；配置风冷系统强迫空气冷却时，输出容量可提高约40%；超载运行中应密切注意变化，切忌因温升过高损坏绝缘结构，无法恢复运行。

3）低负载运行、温升较低时，风机可不投入运行。

2. 非晶合金电力变压器

（1）工艺特点

① 铁心上缠绕绕组。出厂时呈卷带状。将非晶合金带卷绕成铁心后，加工压成矩形，专用的绕线机绕制绕组。但绕组导线截面积大，铁心重，小变压器可采用此方法。

② 采用叠片式铁心结构。将非晶合金卷材剪切成所需长度，再以黏结成电力铁心片后叠装成铁心，但工艺复杂，因非晶合金材料薄，脆而硬。去除毛刺、相互黏结，工艺要求高。

③ 非晶合金铁心套装绕组。将卷绕成形铁心在一端剪切出接缝，各片接缝均错开并压制成矩形，打开接缝并套入绕组，组成为铁心和绕组的整体，铁心和绕组是矩形，效果好。

（2）使用　为保证非晶合金铁心电力变压器安全运行，运行前必须现场检测。

① 油位。储油柜（如果有）的油位计完好，油位清晰，油位线与实际环境温度相符；套管、油位计、排油阀及盖板等处密封良好；外壳和低压侧中性点等接地牢固，接地电阻符合要求。

② 绝缘。变压器绝缘电阻和直流电阻符合《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》（GB 50150—2006），将各档直流电阻测量结果与出厂数据比较，换算至同温度应无明显变化。

③ 防爆。防爆管防爆膜完好，如有吸湿器，应检查吸湿器中的吸潮剂；一、二次侧出线套管及与导线连接良好，高低压各相的相色正确。

④ 试验。工频耐压试验，耐受电压按照例行试验值的 85% 持续 1min；测试空载电流及空载损耗，三相绕组无击穿、短路，空载损耗与标准值比不大于 5%。

全部合格后，先带电空载试运行，在电源侧采取保护措施，仔细观察变压器的电磁声有无异常，测量二次电压。如三相电压平衡，则变压器电压比正常，不存在匝间短路，可带载运行。安装好的非晶合金铁心变压器如已停运半年再投运，应测量绝缘电阻及进行有耐压试验。

（3）运行

① 接入。经试验和可靠接地并确认无问题时，接入三相电源，在额定电压下空载合闸 3 次，每次间隔 5min，可带载运行。

② 环境。环境温度不大于 +40℃，日平均温度不大于 +30℃，年平均

温度不大于 +20℃，最低温度为 -30℃，海拔不大于1 000m；安装地点不得有导电尘埃与腐蚀金属及损害绝缘的气体；无爆炸危险的场所。

③ 容量。负载控制在额定容量的 30% ~70%，处于经济运行状态；由调节变压器无励磁分接开关改变低压侧电压，保证末端用户电压在允许范围内。

④ 接头。确保变压器在无励磁状态分接头换接，并要切换 3 ~5 次，对准位置，消除油膜和氧化膜影响接触电阻。测量电阻与上一次检修或出厂值，换算到同一温度下无明显变化方可投运。当需检查器身时，应测量分接开关的接触电阻。

（4）维护　不同制造方法获得不同结构的铁心，牢固程度即抗短路、抗振动的影响不同，其中叠铁心结构最牢固，其次是不断轭卷铁心，最不牢固的是断轭卷铁心结构。因此，要特别注意对断轭卷铁心结构的变压器验收和运行；特别关注空载损耗的变动、抗短路能力等。对 SH11 ~SH16 型如干式 SCH10 ~SCH15 型等，数字越小，损耗越大；数字越大，生产材质较好，工艺要求越高。

四、检查安装

1. 保管

散热器和连通管、安全气道等应密封；风扇、气体继电器、油泵、温度计等，在干燥室内保管；充油式套管卧放时有适当的坡度，短尾式套管在干燥室内保管；浸油运输的附件应保持浸油保管，其油箱应密封；变压器本体及冷却装置底部垫平垫高，防水；干式变压器在干燥的室内保管；如 3 个月不安装，应检查油箱密封、油绝缘强度和测量绕组绝缘电阻值；变压器在保管期间，至少每 3 个月检查一次，检查有无渗油、油位是否正常、外壳有无锈蚀。每 6 个月检查油绝缘强度。

2. 安装位置

① 供电范围。安装在供电范围的负荷中心，供电半径不大于 0.5km，投入运行线损少，满足供电质量。

② 位置。安装位置必须安全可靠，便于运输、吊装、检修。避开蒸汽、加热等高温场所，远离储存可燃、爆炸、盐雾、腐蚀性气体、灰层、剧烈振动、可能发生水灾的场所，应当选择坚固的地基。符合城市、乡村规划。

③ 安装。在电杆上安装时应注意：大转角杆、分支杆和装有柱上断路器、隔离开关、高压引下线及电缆的电杆不能安装变压器；低压架空线及接户线多的电杆，不易巡视、检查、检测负荷和吊装变压器的电杆，也不能安

装变压器。

3. 安装前的检查

检查变压器铭牌与设计型号、规格一致；检查变压器油箱及附件，齐全、有无损伤或锈蚀；充油套管的油位正常，无渗油；油箱箱盖或钟罩法兰联接螺栓齐全，密封良好，无渗油；浸入油中运输的附件，油箱无渗漏；滚轮轮距与基础铁轨尺寸一致。

4. 安装方式及要求

（1）室内安装

1）变压器室内结构。单台油量 100kg 及以上的三相油浸式变压器，均应装设在单独的防爆室内。为运行维护安全，变压器外廓与变压器室墙壁和门的距离应满足表 3-20 的规定。

表 3-20　变压器与墙壁的最小距离　（单位：mm）

变压器容量/kV · A	100 ~ 1 000	≥1 250
至后壁的距离	0. 6	0. 8
至大门的距离	0. 8	1. 0

① 变压器室内地坪应抬高。当自然通风温度达到 30℃时，室内地坪应比室外地坪抬高 0. 8m；当自然通风温度达到 35℃时，抬高 1. 0m。当采用地面下进风时，一般应抬高 1. 1m。630kV · A 及以下变压器可不抬高地坪。地坪应有微小的坡度。

② 出风口尽量高，可靠近屋梁，出风口面积应为进风口面积的 1. 1 ~ 1. 2 倍。

③ 一般采用铁门，门应向外开。长度超过 7m 的配电室至少有两个出口。

④ 屋顶高度不小于 4. 5 ~ 5m。

⑤ 混凝土地坪不能起砂，墙壁干净不能产生灰尘。

⑥ 变压器室不设采光窗，设通风窗。进风口和出风口采用百叶窗，内侧要安装网孔不大于 10mm × 10mm 防动物铁丝网。基础之下进风孔不安装百叶窗；变压器室内不可穿过无关的其他管道或明敷线路。

⑦ 35kV 以下变压器，距门不小于 1m，距墙不小于 0. 8m；35kV 及以上，距门不小于 2cm，距墙不小于 1. 5cm。

⑧ 单台变压器油量超 600kg 时，设储油坑；各金属部件涂防腐漆；以满足防火要求。

变压器室的空间尺寸见表 3-21。

表 3-21　变压器室的空间尺寸

额定容量/kV·A	阻抗电压(%)	空载损耗/kW	负载损耗/kW	变压器室最小尺寸/mm			
				宽面推进		窄面推进	
				室宽	室深	室宽	室深
200	4	0.33	3.06	3 100	2 700	2 500	3 300
250		0.40	3.49		2 900	2 700	3 300
315		0.48	4.17	3 200	2 900		3 500
400		0.57	5.10	3 500	2 900		3 700
500		0.68	6.08		2 900		
630	4.5	0.81	7.23	3 600	3 100	2 900	3 800
800		0.98	8.84	4 100	3 100		3 800
1 000		1.16	10.37	4 200	3 100		4 100
1 250		1.37	12.33	3 900	3 200	3 000	
1 600		1.65	14.71	4 000	3 200	3 000	4 200

2）变压器就位。

① 如变压器带有底架，可连底架一起就位于基础轨道；就位后变压器下部的滚轮必须固定，防止滑动，并涂防锈漆。

② 为使变压器产生的气体全部流向气体继电器，储油柜一侧应稍高，留有 1% ~1.5% 坡度。

3）变压器的接线：施工变压器一、二次侧引线时，高、低压瓷套管不能直接承受应力。

① 变压器电源引入为高压架空线时，见图 3-6。

② 变压器电源引入为高压电缆时，电缆卡子在墙体的固定必须牢固可靠，金属件防锈处理；绝缘子支架应坚固可靠；引至变压器高压侧出线套管处的高压母线按 A、B、C 相序排列，相标识顺序为黄色、绿色、红色。

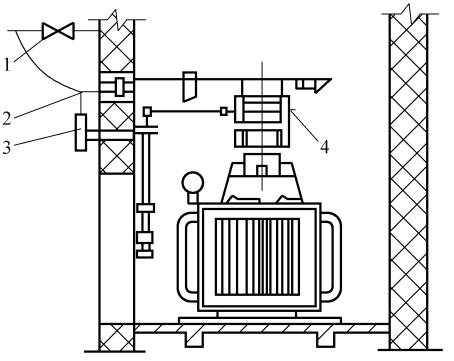


图 3-6　高压架空线引入变压器

1—架空线终端瓷绝缘子　2—高压穿墙瓷绝缘子　3—避雷器　4—高压隔离开关

③ 变压器低压侧母线，经低压绝缘子支架穿墙引

出，绝缘子支架距地面高度不小于 2.3m。如铝排截面积大于1 000mm^2 时，绝缘子支架下面应加斜撑。低压母线连接前，铜母线接触处打孔后搪锡，铝母线作为铜铝过渡接触面，防电化腐蚀。

④ 变压器中性点端子的接线。在三相四线制低压供电线路中，工作零线即从变压器低压绕组中性点端子引出，此中性点端子还要与本变电所接地线连接，两者应分别敷设，工作零线不能埋入地下。中性点引出线的截面积选择，按变压器中性点接地回路中靠近变压器处，应做可拆开的连接点。变压器外壳应可靠接地。

（2）露天安装

1）台墩式安装：容量较大的变压器 315 ~ 1 000kV · A，可露天安装在台基上。变压器杆的下面用砖石砌成 0.5 ~ 1.8m 高的台墩，变压器杆作为高压线的终端杆并引下线，也作为低压线的终端杆。

变压器周围应安装不小于 1.8m 的牢固围栏或围墙，门加锁并专人看护；围栏、围墙离变压器有足够的安全距离，在围栏、围墙或电杆上要悬挂醒目的“高压危险，禁止攀爬”警告牌。

2）落地安装：变压器底部距地面不小于 0.3m，周围应有不小于 1.7m 高的固定围栏或围墙，围栏、围墙离变压器有足够的安全距离不小于 0.8m，相邻变压器之间净距离不小于 1.5m。

此类安装的容量没有限制，供给一级负荷用电时，相邻的可燃油与油浸式变压器的防火距离 5m，否则应设置防火墙，且防火墙高于储油柜顶部，墙两端大于阻油设施各 0.5m。

围栏、围墙或电杆上要悬挂醒目的“高压危险，禁止攀爬”警告牌，门加锁并专人看护。必须切断电源后，进入围栏、围墙内。

3）露天杆上安装：在电杆上搭设变压器台，有双杆与单杆安装式，双杆式适用于 50 ~ 160kV · A 变压器，如果在架子中部增加一个顶柱，可安装至 315kV · A。

台架距地面 2.5m，避雷器横担距离台架 1.5m，跌落式熔断器距避雷器横担 0.6m，避雷器横担安装在变压器内侧，高压避雷器安装在跌落式熔断器下方，便于在不影响线路停电时拆装与现场试验检查。除靠近与单机配套的可用变压器低压侧可不装熔断器外，50kV · A 及以下变压器，在低压侧装熔断器，50kV · A 以上变压器可在低压侧安装配电箱或高压熔断器进行低压保护。线路较长及雷击可能的低压线路，在变压器低压侧安装低压避雷器。

第三节　变压器运行维护与检修

一、注油

1）绝缘油必须按照规定，检验合格后才能注入变压器。不同牌号的变压器油或同一排号的新旧油，不可混合使用。

2）绝缘油的检验取样应当纯净，容器洗净。

3）绝缘油检验后，如绝缘、耐压等不合格，应过滤。

4）为防止注油时，变压器心部凝结水分，注油温度一般在 10℃，心部温度与油温差不大于 5℃，心部温度最好高于油温。

5）注油从油箱下部的进油阀，补充油通过储油柜进入。胶囊式储油柜的注油必须按照制造厂规定。注油必须符合规定的油位，从油箱、套管、散热器、气体继电器等排气。

6）冷却装置安装完成后应立即注油，避免由于阀门泄漏造成变压器绝缘部分露出油面。

7）注油完成与施加电压前，变压器要静置，110kV 及以下静置 12h，静置完成后，应从变压器油箱、套管、散热器、气体继电器、压力释放装置等部位多次放气。

二、运行

1. 运行温度与寿命

额定条件运行时，各部分不超过允许温度，变压器正常使用寿命为25 ~ 30 年。

（1）发热原因

① 负载损耗。负载电流在绕组中产生损耗，使绕组发热。

② 铁心损耗。即铁损，交变磁通在铁心中引起磁滞损耗和涡流损耗，铁心发热。铁损随变压器运行电压的升高而增大，与电压二次方成近似线性关系。因电压稳定，铁损基本固定。

③ 杂散损耗。电流在导体中分配不均，钢质夹件和油箱壁等产生漏磁通，杂散损耗随负荷电流增大。

（2）各部分允许温升　运行中热量由变压器油传送到油箱和散热器表面，再向空气扩散，当发热与散热动态平衡，即稳定的温升值。各部位温升限值见表 3-22。运行中变压器绕组温度最高，铁心稍低，绝缘油温度最低。因绕组有高度和厚度，导线间电流不均匀，整个绕组温度不均匀。一般冷却方式绕组最热点温升高出平均温升约 13℃。如环境温 25℃，绕组平均温升

65℃，最高温度达103℃。为便于监视运行变压器各部分温度，规定用上层油温作为变压器运行允许温度。对A级绝缘变压器的上层油温规定不大于95℃，正常运行不大于85℃；强迫油循环风（水）冷变压器的上层油温不经常超过75℃。

表 3-22　油浸式变压器的温升限值

变压器部位	最 高 温 升
绕组	油自然或强迫循环时为65℃；强迫导向油循环时为70℃
油顶层	6 300kV·A及以下密封式变压器为60℃；其余变压器为55℃
铁心本体油箱及结构件表面	相邻绝缘材料受损温度为80℃

（3）正常使用寿命　绝缘材料长期受热老化，电气击穿造成故障并损坏。据统计，80～140℃范围内温度每增加6℃，A级绝缘寿命老化加速一倍，即使用寿命下降50%，此为“6℃法则”。另外，必须防止变压器受潮和氧侵入。采用密封措施的变压器，正常使用寿命为30年。

2. 过负荷运行能力

（1）正常过负荷能力　变压器负荷总在变化，有峰谷值。低负荷时，绝缘材料老化延缓；高峰负荷时，可适当过负荷运行。变压器正常过负荷不会损害预定寿命。

① 高峰期间过负荷能力。在高峰负荷时允许的过负荷倍数和过负荷时间，见图3-7。

使用该曲线时，先求得变压器日负荷率，$K_L = P_{av}/P_{max}$，可查得一定过负载时间内的过负荷倍数，或者将要采用的过负荷倍数查得允许过负荷时间。如果缺少数据，可依据过负荷前的上层油温升，按表3-23查出允许过负荷倍数及允许持续时间。

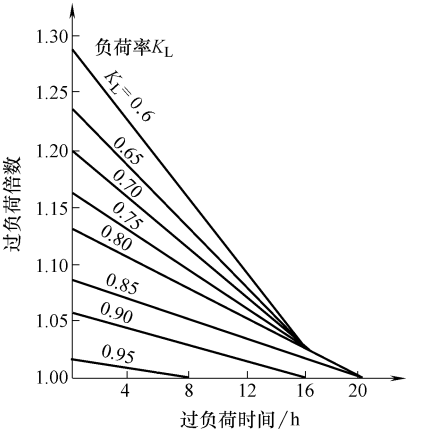


图3-7　日负荷率 $K_L < 1$ 时变压器的允许过负荷曲线

② 冬季过负荷能力。夏季最高负荷低于额定容量时，夏季负荷每降低1%，在冬季就可过

负荷1%，但最高不超过1.15倍额定容量；季节欠负荷和每日欠负荷可叠加过负荷运用，但对室外变压器总负荷倍数不超过1.3倍，对室内变压器不超过1.2倍。

（2）事故过负荷能力　当电力系统发生事故并要保证对重要设备连续供电时，允许变压器过负荷运行。如两台并列运行变压器中的一台因故障停运行，另一台变压器按事故过负荷规定运行。事故过负荷倍数和允许持续时间见表3-24～表3-26。

表3-23　电力变压器过负荷允许持续时间

（单位：min）

允许过负荷倍数	过负荷前上层油面温升						
	18℃	24℃	30℃	36℃	42℃	48℃	54℃
1.05	350	325	290	240	180	90	
1.10	230	205	170	130	85	10	
1.15	170	145	110	80	35		
1.20	125	100	75	45			
1.25	95	75	50	25			
1.30	70	50	30				
1.35	55	35	15				
1.40	40	25					
1.45	25	10					
1.50	15						

注：适用于自然冷却或风冷却油浸式电力变压器。

表3-24　变压器事故过负荷倍数和允许时间

允许过负荷倍数	1.3	1.45	1.60	1.75	2	2.4	3
允许过负荷时间/min	120/60	80/40	30/15	15/8	7.5/4	3.5	1.5

注：适于油浸自冷或油浸风冷变压器；环境温度为25℃；斜线上、下的数字分别为室外/室内的数据。

表3-25　干式变压器事故过负荷倍数和允许时间

允许过负荷倍数	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
允许过负荷时间/min	60	45	32	18	5

表3-26　油浸式变压器风冷系统故障风扇全停时允许运行时间

（带额定负荷）

当时空气温度/℃	-15	-10	0	+10	+20	+30	+40
允许运行时间/h	60	35	15	8	4	2	1

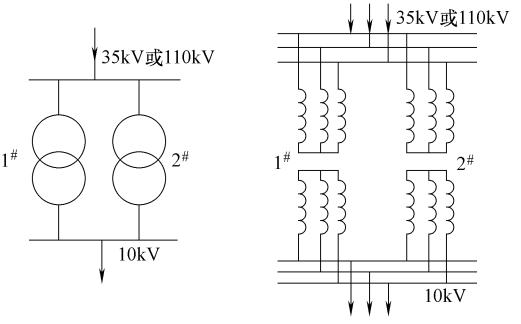
（3）承受短路电流能力　变压器短路电流很大时，绕组温度急剧升高。铝线绕组变压器不大于 200℃，铜线绕组变压器不大于 250℃。当短路电流数值为额定电流 25 倍时，达到此电流的温度时间 4～5s。因变压器保护动作时间和开关跳闸时间小于 4～5s，变压器允许承受 25 倍以下短路电流。具体承受短路电流的允许时间见表 3-27。

表 3-27　变压器允许的短路电流倍数及持续时间

短路电流倍数	20～25	15～20	≤15
允许持续时间/s	2	3	4

3. 并列运行

即两台或多台变压器一次绕组并联到同一母线上，二次绕组并联在同一条二次母线上，见图 3-8。



a) 单线图　　b) 三相接线图

图 3-8　变压器并列运行

（1）优点

① 可靠性高。当 1 台变压器故障从电网中切除时，负荷由其他变压器承担，运用事故过负荷能力，限制一般用户用电，不必中断供电，也可计划维修。

② 提高运行经济效益。一天中负荷变动，负荷较小时切除 1 台或几台变压器，减少空载损耗，提高效率和电网功率因数。

（2）条件

① 联结组标号。联结组标号必须相同，如 2 台变压器联结组标号不同并列运行，两台变压器构成的闭合回路出现几倍于额定电流的环流，变压器发热或烧毁。

② 额定电压及电压比。2 个变压器一、二次侧额定电压分别相等、电压比相等，差值低于 ±0.5% 的，要防止产生环流。

③ 阻抗电压百分数。各变压器的阻抗电压百分数应相等，差值低于 ±10%。

④ 容量比。各变压器的容量比不宜超过 3:1。

（3）注意事项　新投入运行的变压器，要先核相，在空载转台并列后，才可带上负荷运行；变压器并列和解列，不允许用隔离开关或跌落式熔断器；并列前预估负荷电流分配，分析另 1 台变压器是否过负荷，解列后立即检查。

三、运行异常及处理

1. 异常现象及处理

（1）声音不正常　正常运行时有“嗡嗡”电磁声，若响声突然异样说明存在异常；变压器短时过电压、过电流时“嗡嗡”声增大，但无杂音，应加强监视；出现响亮的“锤击”声或类似大风声，可能夹紧铁心的螺栓松动，铁心接地线断裂会产生“吱吱”或“噼啪”的放电声；绕组匝间短路，接地开关接触不良，油局部沸腾，局部发热产生开水的“咕噜咕噜”声；系统发生铁磁谐振时，变压器会发出交替的“嗡嗡”声和“哼哼”声；运行的振动，外附物件与油箱发生摩擦或碰撞引起的声音；大动力设备起动时冲击负荷大，会发出“哇哇”声。有些当即可查明原因，有的则只是某种判断，应加强监视。如能判断变压器已损坏或不能保证变压器继续使用，可投入备用变压器。

若变压器内部声响很大，很不正常，伴有剧烈的“噼啪”放电声或爆裂声，说明内部有短路等严重故障，立即停止运行。

（2）上层油温明显升高　检查温度计、冷却系统，油位指示与温度。若在正常时负荷没有改变而油温继续上升，或正常负荷与冷却条件下，油温比平时明显升高超过 10℃，可能是绕组匝间短路、铁心过热等，应停止变压器运行。

（3）油位不正常　油位过高甚至从储油柜溢油，应先检查变压器负荷和温度。如负荷和温度均正常，则可能因吸湿器或油标管路堵塞、防爆管通气孔堵塞、隔膜式储油柜在加油时未排尽空气等原因。此时将重瓦斯改接信号，再处理。如因环境温度过高，应放油至合适油位。油位过低轻瓦斯动作，使内部绝缘受潮或发生击穿故障，可带电对变压器加油。如油面低到气体继电器以下或继续下降，表明有漏油时，立即停止运行。

（4）油色不正常　油色异常时先取油样分析。若含有炭粒和水分，酸价增高，闪点降低，电气绝缘强度下降时，说明油质下降，如继续运行很容易发生绕组与外壳击穿，应立即停用变压器并投入备用变压器；若运行中发现油色骤然恶化，应立即停电检查处理。

（5）冷却系统故障　强油冷却变压器备用冷却器自动投入，应查明故障原因并尽快消除，恢复正常运行状态。若冷却系统全停则应降低变压器负荷，可短时运行后退出。同时监视变压器上层油温及油位，防爆管是否“跑油”。当冷却系统恢复正常运行时，油位会急剧下降，必要时可停用重瓦斯保护，防误动作。

（6）过负荷　此时有信号报警，检查变压器各侧电流、油位、油温，备用冷却器投入运行，如过负荷在允许范围内，应加强监测。

（7）轻瓦斯动作　动作时应有变压器内部轻微故障，产生少量气体；空气侵入变压器；变压器油位降低；二次电路故障，如发生直流系统两点接地。出现轻瓦斯动作信号后，立即检查变压器，包括油位、油色、漏油、变压器负荷、温度等。如正常则吸取气样化验成分，必要时再取油样化验。对分析气样色谱，从数量、颜色、气味和可燃性粗略判断，见表3-28。

表3-28　气体颜色、气味和可燃性与故障性质

气体特征	变压器故障性质
黄色、不易燃	木质故障
灰白色、有臭味，可燃	纸及纸板故障
灰黑色、易燃	油放电分解故障
无色、无味、不燃	变压器内有空气

2. 内部局部高温

（1）分接开关接触不良　分接开关局部高温影响变压器安全运行，可导致变压器烧毁，此故障易发于大修或切换分接头操作后。变压器发生穿越性短路故障烧伤分接头接触面后也易发生。如变压器轻瓦斯频繁动作报警，此故障可能性较大，只要停止变压器运行，测量三相分接头直流电阻即可发现。分接开关接触不良主要原因有：定位指示与分接开关实际接触位置错位；鼓形分接开关几个接触环与接触柱不同时接触；接触电压力小、接触面小；接触处油泥污染。

（2）绕组匝间短路　绕组匝间短路产生高热导致变压器烧损，原因有制造装配时因敲打、折弯、压紧等，损伤绕组绝缘；绕组绝缘因毛刺刺伤；发生穿越性短路时，因大电流作用使线匝发生位移，绝缘磨损；变压器长期

过负荷运行或运行中局部高热，绝缘老化；变压器油面低，绕组露出油面；运行中发生较高过电压，绕组绝缘击穿。

（3）铁心硅钢片间存在短路　铁心硅钢片间有绝缘层，因损伤或绝缘损坏局部绝缘层，形成涡流局部过热。铁心穿心螺杆绝缘损坏后，铁心中也发生环流，若不断开变压器电源，可能发生火灾或爆炸。变压器铁心应当一点接地，若接地线断开，铁心和外壳间可能发生火花放电；若两点接地，会造成铁心环流引起局部高热。较严重的局部发热，油温上升，轻瓦斯保护频繁动作，有可燃性气体产生，油闪点下降。更严重的铁心局部发热导致重瓦斯动作跳闸。

（4）绕组的各接头、焊接处发热。

四、常见事故及处理

1. 自动跳闸后的一般处理

系统性处理，投入备用变压器，调整运行方式和负荷分配；了解系统内故障；可能是人为误碰、误操作或误保护跳闸，可试送电一次；查明系变压器下一级设备故障，但相应保护未动作，本变压器低压过电流或限时过电流保护动作跳闸，在故障有效隔离后可试送电一次；如查明是重瓦斯、差动或电流速断保护动作，故障时已造成冲击，应在停电状态下详细检查并测定绝缘。未查明故障原因及处理前，不允许变压器投入运行。

总之，尽快查明原因并正确处理，恢复正常运行。

2. 重瓦斯动作跳闸的处理

从气体继电器中取气样色谱分析，如无气体则要检查二次回路、气体继电器接线柱及引线绝缘；检查防爆管无破裂、喷油；检查油位、油色、油温；检查变压器外壳无变形，焊缝无开裂喷油。前述检查中如发现问题，应停电检查处理；在查明动作原因并处理前，不得合闸送电；如查明是二次电路绝缘损坏引起误动作，未发现其他异常，可在差动保护及过电流保护投入时，暂时将重瓦斯保护改接为信号，试送电一次并加强监视；如查明气体继电器内的气体仅是空气，查明空气产生的原因，当能保证变压器内部无故障时，变压器内部可不检查即投入运行。

3. 油位异常与处理

（1）原因　生产厂家提供的油位与油温曲线，不符合油位—油温曲线时，可能的原因有：指针式油位计出现卡针；隔膜或胶囊下面有气体，隔膜或胶囊高于实际油位；隔膜或胶囊破裂，油位进入隔膜或胶囊上部空间，油位指示偏低；吸湿器堵塞，油位下降时空气不能进入，油位指示偏高；温度

计不准确；变压器漏油，储油少；大修后注油太多或不够；长期大负荷运行。

（2）处理

① 及时查明原因。特别当油位指示超过满刻度或降到零刻度时，必须立即确认原因，并监视变压器运行状态。可通过油位与油温-曲线判断，并通过微动开关发出油位高低的信号。检查油箱吸管是否漏油或堵，查明原因并立即报告设备管理人员。

② 采取措施。如油位异常，应立即采取措施；如大量漏油及油位明显降低，禁止将气体保护改接信号；如变压器本体无渗油，且有载调压油箱内油位正常，可能是注油不够。如主油箱油位异常低，且有载调压油箱内油位异常高，可能是主油箱与有载调压油箱之间密封损坏，产生主油箱向有载调压油箱泄漏；如油位随温度逐步上升，最高油温下的油位可能高出油位指示，则应放油至适当的高度。

4. 差动保护动作跳闸的处理

① 除检查变压器本体外，还要检查保护范围内的瓷绝缘子有无闪络、损坏，引线有无短路等。

② 若差动保护范围内未发现异常，应检查差动保护二次电路，直流电路有无两点接地等。

③ 若确系差动保护二次电路故障引起的误动，退出差动保护后将变压器合闸送电，然后再处理二次电路故障。处理好后可将差动保护投到“信号”位置投入一段时间。

④ 若查明在差动保护范围之外有系统短路故障，而变压器确无任何损伤，属于差动保护误动作时，最好将变压器由零作升压试验，若正常即可送电投入运行。当无条件时，可在空载情况下合闸，一切正常后再带负荷运行。

⑤ 若变压器差动保护与重瓦斯保护时动作跳闸，说明变压器严重内部故障，未经检查和处理不得投入。

5. 变压器过电流保护跳闸处理

检查母线及母线上设备无短路，各侧设备无短路、无杂物；检查中压侧、低压侧的保护和各出线保护；如发现外部短路地点，在有效隔离后，可送电；如判断下级线路短路引起越级跳闸，可在母线无电时拉开母线上所有线路后经调度员同意空载投入，一切正常时逐路送电查出故障线路；若是变压器故障，则需排除故障后方可恢复运行。

6. 着火处理

用断路器切断主电源，切断冷却系统电源。先起动高压水泵，再打开电

动喷雾阀门喷雾灭火。带电灭火时严禁喷水和使用一般泡沫灭火器，用二氧化碳、四氯化碳、3 211、干粉等灭火剂，或采用黄沙灭火。若油着火，用泡沫灭火器喷射灭火。如变压器油溢出并在变压器箱盖上着火，应打开变压器下部放油阀，使油面低于着火处。此时可向变压器外壳喷水，冷却油温。如变压器外壳炸裂并着火，必须将变压器油全部放掉。如内部故障引起着火，则不能放油。处理变压器着火应迅速果断。

7. 通用干式变压器常见故障与处理（见表 3-29）

表 3-29　通用干式变压器常见故障与处理

现象	原　　因	处　　理
铁心对地绝缘电阻低	环境空气湿度较大，变压器受潮导致绝缘电阻偏低	用高温灯具（如碘钨灯）在低压线圈下连续烘烤 12h，包括铁心、高低压线圈，绝缘电阻值会相应提高
铁心对地绝缘电阻为零	金属之间的连接如有毛刺、金属丝等，被漆带入铁心，两端搭接在铁心与夹件之间；底脚绝缘破损造成铁心与底脚相连；有金属物掉入低压线圈内，拉板与铁心相连	用铅丝沿低压线圈铁心极之间通道往下顺捅，确定无异物后，检查底脚绝缘情况，如无法解决，可用电焊机地线端与接地片相连，用焊条点击底脚 1 次，电流约 250A
交接试验在做工频耐压时有放电声	拉板定位于夹件拉紧处放电，用冲子铳一下，使拉板与夹件导电良好；特别是 35kV 高压产品，对垫块加强绝缘处理；高压线缆与连接点虚接或与分接板、角连接管绝缘距离较近发出电声	加大绝缘距离，拧紧螺栓；检查清除高压线圈内壁的粉尘
送电冲击时，外壳与铺地铁板放电	外壳板材之间导通不良，接地不良	用2 500MΩ 绝缘电阻表将板材绝缘击穿或将外壳连接部位漆膜刮掉，用铜线连接接地
角接管烧毁	仔细检查高压线圈烧黑部位，用刀或铁片刮掉最黑部位，如去掉炭黑漏出红漆色，线圈内绝缘没有损坏	测量电压比判断线圈是否短路，如电压比正常，说明故障是由外部短路引起的拉弧将角接管烧毁
直流电阻不平衡率超标	交接试验中分接头螺栓松动，造成直流电阻不平衡率超标或测试方法有问题	检查每个分接头内是否有树脂；螺栓联接是否紧固，特别是低压铜排联接螺栓；接触面如有漆或异物，用砂纸把铜面砂光；改变连接铜管粗细可改变直流电阻值（超标不多）；如差别很大可能是分接头虚焊导致短路

（续）

现象	原　　因	处　　理
变压器噪声	主要由铁心片的磁滞伸缩产生，绕组电磁力及变压器附件也引起噪声。现场噪声较大，基本由本体及外壳共振产生，也可能是由紧固件异常松动产生	可现场对变压器各紧固件包括螺杆螺栓、垫块、底脚螺栓、风机内掉入异物、风机转子离心摆动等全面检查并紧固，对共振产生部位紧固或加设减振装置
温控器常见故障	具体检查分析	一相显示—OP—，是三相感温探头中一相产生故障，更换传感电缆；两相温度正常，一相温度偏高，通过温度补偿解决，输入密码1 008，最多20℃；测试跳闸功能，模拟升温时跳闸不动作，通过降低设定温度比当前温度高1℃，再用手捏住感温头，随温度升高跳闸动作，用万能表观察
行程开关失灵或异常动作		行程开关是在变压器带电运行时的保护装置，如变压器带电，在打开外壳门时，行程开关触头应立即闭合，报警回路接通报警

现场送电注意事项如下：一般供电局送电3～5次，送电前检查螺栓紧固情况、铁心上不能有金属异物；绝缘距离符合送电标准；电器功能是否运行正常；连线正确；各部件绝缘符合送电标准；检查器身有无凝露现象；检查外壳及电缆进线部位，没有小动物能进入的洞口；送电时有无放电声。每次送电声音由大到小，如声音很大，可能外壳螺栓松动产生噪声，特别是低压电网；输出电压偏大约420V，调整分接位置，如果是428V，将高压分接位置向上调节，以10±2×2.5%/0.4为例置于10 500V一档；风机内不能存在异物。

五、检修周期与项目

1. 检修周期和检修项目（见表3-30）

表3-30　电力变压器的检修周期与检修项目

检修等级	大修（吊芯）	小修（不吊芯）
检修周期	正常运行每10年1次，有异常时提前，密封式变压器在判定内部有故障时大修	正常情况每年1次；污秽地区每年1～2次

（续）

检修等级	大修(吊芯)	小修(不吊芯)
检修项目	①检修器身 ②检修引线及磁屏蔽装置 ③检修开关 ④检修铁心、穿心螺栓、轭梁、压钉及接地片等 ⑤检修油箱、套管、散热器、防爆管、储油柜等 ⑥检修冷却器、油浆、水风阀门及管道等附属设备 ⑦检查和试验保护装置、测量装置、操作控制箱等 ⑧处理或更换变压器油 ⑨检修油保护装置 ⑩密封衬垫更换,油箱内部清洁,油箱外壳及附近的除锈与涂漆 ⑪必要时绝缘干燥处理 ⑫按设备管理要求的测量和试验	①检查并消除缺陷 ②检查并拧紧套管引出线线头 ③清除储油柜中油泥,检查油位计 ④检修油保护装置及放油活门 ⑤检修冷却器、储油柜、防爆管及隔膜 ⑥检查套管密封、顶部连接片密封衬垫,检查和清扫瓷绝缘 ⑦检修和试验保护、测量装置及操作控制箱 ⑧检修有载调压分接开关 ⑨给充油套管及变压器本体补充油 ⑩油箱及附件的检修和涂漆 ⑪按规程要求进行测量和试验 ⑫柱上配电变压器应检查台杆是否牢固,木质杆是否腐朽

2. 检修前的准备工作

编写缺陷项目表；确定特殊项目；制定检修重大技术措施；备品备件；设备、工具和测试仪表。吊芯场地应整洁，必备起重能力，盛放变压器油的器具。准备压力滤油机、过滤纸、烘箱和电源，必需的测试仪表等。

检修分为小修、项修与大修。小修与平时的保养结合，消除运行中不正常现象；项修也称为中修，是针对性维修，针对某一重要结构与部件的修理；大修一般是计划维修，大修后，变压器达到新出厂性能要求。

第四节　预装式变电站及选用

一、概述

预装式变电站又称为箱式变电站，简称箱变，是将高压开关设备、配电变压器和低压配电装置，按一定接线方案组成一体的紧凑式配电设备。在工厂设计、制造和内部电气接线及装配时，应经过规定的出厂试验验证和型式试验考核。

预装式变电站可以将高压直接进入负荷中心，线损少、供电质量高，即“高压受电-变压器降压-低压配电”。由于供电可靠性要求高，采用高压环网或双电源供电、低压网自动投切的预装式变电站成为配电设备的首选。

1. 种类

① 按整体结构划分。习惯分为欧变和美变，前者以前在我国称为组合式变电站，将高压开关设备、配电变压器和低电压配电设备布置在三个紧靠的隔室内，通过电缆或母线实现电气连接。后者以前称为预装式变电站，将变压器器身、高压负荷开关、熔断器及高低压连线置于 1 个共同的封闭油箱内。

② 按安装场所划分为户内和户外。

③ 按高压接线方式划分为终端接线、双电源接线和环网接线类型。

④ 按箱体结构划分为整体、分体等类型。

2. 特点

（1）自动化程度高　智能化设计，保护系统采用微机综合自动化装置，分散安装，遥测、遥信、遥控、遥调即“四遥”。每个单元具有独立运行功能，继电保护功能齐全，可对运行参数进行远距离设置，对箱体内湿度、温度控制和远方烟雾报警，无人值守；根据需要还可通过图像进行远程监控。

（2）工厂预制化　按照主接线图和箱外设备设计，确定主要设备元件型号、规格，在成套厂安装、调试，现场直接使用。可将高压线路直接送电负荷中心。

（3）先进、安全可靠　箱体制作工艺先进，壳体用镀铝锌钢板，耐锈蚀，内封板用铝合金扣板，夹层用防火保温材料，箱体内安装空调及除湿装置，内部设备运行不受外界影响，适应 -40 ~ +40℃。箱内设备用全封闭高低压开关柜如 XGN 型、GGD 型、干式变压器、干式互感器、真空断路器、弹操机构、旋转隔离开关等设备，产品全封闭、全绝缘结构，无油化运行。二次系统来用微机综合自动化系统，可实现无人值守。

（4）组合方式灵活　结构紧凑，每个箱构成 1 个独立系统，组合灵活多变。如全部采用箱式，35kV 及 10kV 设备全部箱内安装，组成全箱式变电站。

（5）成本低　较同规模常规变电所减少成本 40% ~50%，占地面积仅为同规模变电所的 1/10，外形美观、与环境协调。

3. 应用

技术成熟，欧洲预装式变电站已占配电变压器的 70% 左右，美国预装式变电站产量占配电变压器产量的 80% 以上。20 世纪 90 年代后期，从法国、德国等国家引进并仿制欧变。从 20 世纪 90 年代起，美国预装式变电站开始引入我国，国内许多成套制造企业能生产箱变，但一些关键部件与国外产品存在较大差距，仍需进口。

二、选用

1. 美变与欧变的比较

（1）外形　预装式变电站分为美式与欧式两种，简称美变与欧变。欧变高压开关柜、低压开关柜、变压器独立隔室，从外形看，是给高压柜、低压柜、变压器盖了房子；美变将负荷开关、熔断器、避雷器结构简化直接放置在变压器的油箱中，油箱和散热器暴露于空气中，外形上是变压器旁挂了个箱子。欧变体积大、成本高，美变体积小。

（2）保护方式　欧变高压侧用负荷开关和限流熔断器保护，当一相熔断器断开后，熔断器顶针使负荷开关三相同时分闸，不会断相运行，但要求负荷开关能切断转移电流；低压侧用负荷开关+限流熔断器保护。美变高压侧用熔断器保护，负荷开关只能切换转移和切断高压负荷电流，容量小，当高压一相熔断器断开后，低压侧电压会降低，断路器欠电压保护或过电流保护动作。

2. 国产箱变的特点

国内生产的欧变同美变相比，增加了接地开关、避雷器、接地开关与主开关之间机械联锁，保证安全。国产欧变每相用1只熔断器代替美变的2只熔断器作为保护，任一只熔断器断开时，会使负荷开关跳闸，在更换熔断器后，主开关才合闸，运行安全。

3. 典型产品

（1）35kV欧变

1）系统组成：以XBW—40.5产品介绍。高压侧35kV，低压侧6kV、10kV，单母线或双母线系统。采用分体式结构，35kV主变压器、10kV间隔箱、电力电容器补偿箱和综合控制保护箱等。

2）进出线：35kV间隔箱、主变压器，有架空和电缆进出线；10kV间隔箱有架空进出线、电缆出线和电缆进出线。

3）主要设备：

① 35kV间隔箱中设备：固定式高压开关柜XGN17—40.5、XGN46—40.5；手车高压开关柜KYN61—40.5、KYN10—40.5。

② 35kV变压器：干式变压器SC8、SC9、SC10、SC11；油浸式变压器S9、S10、SZ9。

③ 10kV间隔箱中设备：高压柜XGN2—12、ZGN—12；手车高压柜KYN28A—12、KYN18A—12。

④ 微机自动化监控系统：有保护屏、直流屏、交流屏、计量屏、通信屏等。

4）箱体结构与材料：平顶脊梁式，顶盖可活动拆卸。几个箱体组合成完整的35kV无人值守变电站，也可单独用于35kV变电站改造。箱体墙壁中间加隔热材料，箱体防水、防火、防风沙、防腐，隔热性能好，上下通风，防护太阳辐射。

5）辅助设施：温控强迫通风装置、温度自动控制装置、防凝露自控装置，也可安装空调器。各单元装有完善的带电显示装置和照明系统。

6）技术数据：典型产品见表3-31。

表3-31　XBW—40.5系列户外箱变技术数据

项目		参数	
35kV单元	额定频率/Hz	50	
	额定电压/kV	40.5	
	工频耐受电压/kV	对地间隔离断口95 118	
	雷电冲击电压/kV	对地相间隔离断口95 118	
	额定电流/A	1 250、1 600、2 000	
	额定短路开断电流/kA	25	31.5
	4s额定短时耐受电压/kA		
	额定短路关合电流(峰值)/kA	63	80
	额定峰值耐受电流(峰值)/kA		
	额定短路电流开断次数/次	20	
	机械寿命/次	10 000	
	额定操作顺序	分-0.3-合分-180-合分	
	防护等级	IP2X	
	操作方式	电磁式、弹簧储能式	
	母线系统	单母线或单母线分段	
	主开关	ZN39—40.5、ZN12—40.5、ZN12—40.5真空断路器	
10kV单元	额定电压/kV	7.2、12	
	额定电流/A	630、1 250、1 600、2 000、2 500、3 150	
	额定短路开断电流(有效值)/kA	20、25、31.5、40	
	额定短时耐受电压(有效值)/kA		
	额定短路关合电流(峰值)/kA	50、63、80、100	
	额定短路电流开断次数/次	30	
	机械寿命/次	10 000	
	额定操作顺序	分-0.3-合分-180-合分	
	防护等级	IP2X	
	操作方式	电磁式、弹簧储能式	
	母线系统	单母线或单母线分段	
	主开关	ZN28、ZN65、ZN63系列真空开关	

（续）

项　目		参　数
变压器单元	额定容量/kV·A	200～20 000
	阻抗电压/kV	4、6、7、9、10
	分接范围	±2×2.5%、±5%
	联结组标号	Dyn11、Yyn0

（2）ZG9 系列美变

1）特点：将变压器、高压负荷开关、熔丝等保护元件安装在绝缘油箱中，结构紧凑，根据需要配置低压配电方式和计量元件。

它体积小、安装方便；全密闭、全绝缘结构，可靠安全；用于环网或终端，转换方便；损耗低、噪声小；接插式电缆接头操作方便；高压双熔丝保护，插入式熔丝温度、电流双重保护；后本变熔丝对变压器故障和二次线路故障保护。箱体防盗结构，温升低，过载能力强。

2）技术数据：见表 3-32。

表 3-32　ZG9 系列美式预装式变电站技术数据

	项　目	参　数
高压单元	额定频率/Hz	50
	额定电压/kV	6、6.3、6.6、10、10.5、11
	最高工作电压/kV	6.9、11.5
	工频耐受电压(对地和相间隔离断口)/kV	32/36、42/48
	雷电冲击耐压(对地和相间隔离断口)/kV	60/70、75/85
	额定电流/A	200、400、630
	额定短时耐受电流/kA	12.5(2s)、16(2s)20(2s)
	额定峰值耐受电流/kA	31.5、40、50
低压单元	额定电压/V	380、220
	额定主电路电流/A	100～3 200
	额定短时耐受电流/kA	15、63、110
	额定峰值耐受电流/kA	30、63、110
	支路电流/A	10～800
	分支电路数/路	1～12
变压器单元	额定容量/kV·A	50～1 600
	高压分接范围/kV	±2×2.5%、±5%
	联结组标号	Dyn11、Yyn0
	油顶层温升/K	≤55

（3）ZBW22—Q—10 系列美变

1）特点：将变压器器身、开关设备、熔断器、分接开关及辅助设备，

变压器的部件置于油箱中，用于10kV环网、双电源或终端供电系统，进行变配电、计量、补偿、控制和保护。可靠、安装灵活快速、操作方便、体积小，可用户外、户内。元件标准化，满足《高压/低压预装式变电站》（GB 17467—2010）等标准。

全密闭、全绝缘，无需绝缘距离，保证安全；用于环网或终端接线，转换方便；采用双熔丝保护，温度和电流双敏插入式熔丝；箱体防腐、粉末喷涂处理，适于恶劣环境；外形尺寸标准化。

2）基本结构：前部是高低压操作间隔，包括高低压套管、负荷开关、无励磁分接开关、插入式熔断器、压力释放阀、温度计、油位计、注油空、放油阀等；后部是箱体和散热片。绕组和铁心、高压负荷开关及保护用熔断器在箱体内。全密封箱体，防水、安全、操作方便，只有打开低压间隔后才可打开高压间隔。

3）主要元件：

① 高压端子：配绝缘套管，插入时电缆终端与绝缘端子相连，带电部分封闭在绝缘体内，端子外表不带电。

② 熔断器：高压后备保护熔断器与插入式熔断器串联保护。

③ 肘型电缆插头：可带额定200A的负荷电流拔插，有故障显示器与带电指示器。

④ 负荷开关：三联动式油浸式负荷开关，弹操机构，能完成开断与关合操作；分为两位置和四位置，分别用于放射性与环网型配电系统。

⑤ 变压器：选高导磁硅钢片铁心，45°全斜连接和椭圆界面结构，高度低、损耗小；高低压线圈同模绕制工艺，无套管间隙，承受短路能力强；高低压全部是软线；变压器油箱用波纹式，散热片冷却功能强，弹性性能可补偿温度变化引起的油箱体积变化。

4）技术数据：基本参数见表3-33，变压器参数见表3-34，负荷开关参数见表3-35。

表3-33　ZBW22—Q—10系列美式预装式变电站基本参数

项目	参数	项目	参数
额定电压	高压侧6kV、10kV；低压侧0.4kV	高压分接范围	±2×2.5%（可提供±5%）
高压侧设备最高电压	6.9kV、11.5kV	联结组标号	Dyn11
辅助电路额定电压	110V、220V、380V	额定频率	50Hz（或60Hz）
1min工频耐压	6～25kV、10～35kV	温升	高低压元件、变压器执行国家标准

（续）

项目	参数	项目	参数
雷击冲击耐压	6～20kV、10～75kV	噪声等级	空载时不大于 50dB
额定短时耐受电流	12.5kA(2s)、16kA(2s)	高压后备熔断器额定短路分段电流	50kA
额定容量/kV·A	125、160、250、315、400、500、630、800、1 000	外壳防护	IP34

表 3-34　变压器参数

额定容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/kW	负载损耗/kW	空载电流(%)	短路阻抗(%)	重量/kg		轨距/mm
	高压/kV	分接范围	低压/kV						环网	终端	
125	6、6.3、10	5%、±2×2.5%	0.4	Yyn0或Dyn11	0.260	1.80	1.60	4.0	1 450	1 230	550
160					0.320	2.2	1.50		1 570	1 340	
200					0.380	2.60	1.50		1 620	1 490	
250					0.450	3.05	1.40		1 800	1 670	
315					0.530	3.65	1.40		1 950	1 890	
400					0.645	4.30	1.40		2 280	2 200	660
500					0.755	5.15	1.20		2 530	2 450	
630					0.910	6.20	1.20	4.5	2 920	2 770	
800					1.080	7.50	1.10		3 750	3 600	820
1 000					1.260	10.30	0.90		4 544	4 390	

表 3-35　负荷开关参数

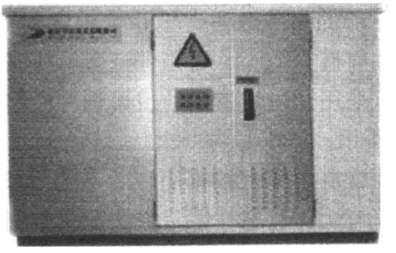
额定容量/A	最高工作电压/kV	冲击耐压/kV	1min 工频耐压/kV	最高热稳定电流/kA/s	额定短路关合电流/kA	额定动稳定电流/kA	额定操作次数/次	机械寿命/次
315	12	7 585	4 248	12.52	31.5	31.5	100	2 000
630	12	7 585	4 248	162	40	40	100	3 000

（4）ZBW 系列欧变

1）结构：将高压开关、变压器、低压开关按接线方案组合成一体，有高压开关设备、变压器、低压开关设备三个隔室。适于 10kV 系统，100kV·A 及以下住宅区、工地、建筑、企业及临时用电。用于环网、放射性终端供电。欧变改型产品的外观见图 3-9。

2）特点：箱体防腐性能优越；分沉箱式底座和平置式金属型钢底座，沉箱式底座结构刚性好、强度高、密封严；框架有“目”和“品”字结构，高、低压室正面开门，变压器室两侧开门，低压室门及变压器室门上有通风孔，对

a) 沉箱式



b) 平置式

图 3-9　欧变改型产品的外观

应位置有防尘装置，箱体自然通风，箱体双层结构顶盖，夹层间可通气流，隔热良好。高、低压室内部有独立的顶板，变压器室内设有顶部防凝露板；高压室选真空负荷开关或 SF_6 负荷开关 + 熔断器组合电器，作保护变压器的主开关，采用终端、环网或双电源供电等形式；低压室元件用模数化面板式、屏装式安装；配油浸式低损耗节能型电力变压器或环氧浇注干式变压器。

3）技术数据：ZBW 系列 10kV 欧式预装式变电站技术数据，见表 3-36。

表 3-36　ZBW 系列 10kV 欧式预装式变电站技术数据

	项　　目	参　　数
高压单元	额定频率/Hz	50
	额定电压/kV	10
	最高工作电压/kV	12
	额定电流/A	630
	闭环开断电流/A	630
	电缆充电开断电流/A	135
	转移电流/A	2 200
	额定短时耐受电流/kA	25(2s)
	额定峰值耐受电流/kA	63
	工频耐受电压/kV	42(对地及相间)、48(断口)
	雷电冲击耐受电压/kV	95(对地及相间)、110(断口)
低压单元	额定电压/V	400
	主电路额定电流/A	100 ~ 1 600
	额定短时耐受电流/kA	30(1s)
	额定峰值耐受电流/kA	63
	支路电流/A	100 ~ 400
	分支电路数/路	6 ~ 10
	补偿容量/kvar	0 ~ 200

（续）

	项　　目	参　　数
变压器单元	额定容量/kV·A	50～1 000
	阻抗电压(%)	4
	电压分接范围	±2×2.5%、±5%
	联结组标号	Yyn0 或 Dyn11
箱体	外壳防护等级	IP33
	声级水平/dB	≤55

三、运行维护

1. 运行前的检查

1）检查油漆完整美观，与环境协调，装置内清洁。

2）元件安装正确、牢固，操作机构灵活，不允许有卡阻或操作不灵便；主要电器元件通断可靠、准确、同步，辅助触头通断必须可靠、准确；仪表、互感器的接线正确，电流互感器二次侧不允许开路。

3）母线连接良好，支持绝缘子、支撑件及附件安装牢固可靠；所有电器元件安装螺钉牢固；电器元件接线正确并经过试验，防止接线松动；元件整定值正确，熔断器熔体正确。

4）保护接地系统电阻小于0.1Ω，计量表及继电器动作正确；低压与二次电路用500V绝缘电阻表测量绝缘电阻不小于2MΩ；变压器温控装置调整到规定的使用温度。

5）传感装置接线正确，尤其是智能型箱变，传感器设定正确；通信线布置符合规范；电容器外壳接地正确，放电系统可靠。

2. 投运操作

1）投运前，对高低压配电设备、变压器计量装置等进行试验，不合格不得投运。

2）将变压器网门及全部开关设备门关好，所有开关在分闸位置；按操作程序合闸10kV电源，观察高压指示仪表，正常后投入运行。

3）闭合低压开关，观察低压指示仪表，正常后再分别合分路开关，箱变投入运行。

3. 维护

1）因变电站无人值守，受电、变电、馈电一体化，需定期巡视、清扫和维护。检查箱体内照明，应完善良好。

2）发现箱体锈蚀、损坏后应及时修补；检查箱体通风孔是否通畅，自动排风扇工作是否正常，观察箱体内温升，如不正常应立即停运检修。

3）对可拆卸部分要紧固，检查转动部分和门锁应当灵活。

4）对于油浸式变压器，建议每年对变压器油做一次分析检查；运行的高压负荷开关经过 20 次满负荷或2 000次负荷分合闸操作后，需检查触头、灭弧装置损耗程度及力学性能，有异常及时维修或更换；应检查 SF_6 负荷开关的气体密封性能。

5）低压开关设备自行跳闸后，需检查、分析原因，排除故障后可重新使用。

6）每年雨季前对避雷器做预防性试验；检查高压负荷开关和避雷器时，必须切断箱变电源进线；巡视变压器时，不能打开内网门。

四、预装式变电站智能化

智能化基本条件是高压侧满足电力系统对配电网自动化的要求；低压侧满足智能化用电区域的要求；计算机就近对箱变“四遥”管理。预装式变电站已实现高压进入负荷中心，形成高压受电-变压器降压-低压配电模式，向节电、小型、紧凑、无人值守发展，智能型箱变可完成故障区段自动定位、故障切除、负荷转带、网络重构等，断电后可在 1min 左右恢复供电。

1. 结构特点

智能箱变由高压、电力变压器、低压、计量单元及智能系统等优化组合而成，小型化、免维护、高性能和节能。采用模块方式，有各种组合型式：按高压开关接入电网型式，有环网型、双电源型和终端型；设备隔室布置有“目”和“品”字形；按内装变压器种类，有油浸式全密封变压器或干式变压器；按箱体外壳材质，有金属外壳或非金属外壳；按高压开关选型，有产气式负荷开关、压气式负荷开关、真空负荷开关或 SF_6 负荷开关；按可否配置智能系统，有智能型和紧凑型等。

高压 12kV 侧用负荷开关 + 限流熔断器作变压器的主保护，用环网、双电源和终端等供电方式，有两组插入式熔断器和后备保护熔断器串联分段范围保护。限流熔断器一相熔断时，必须能联动跳开三相负荷开关，不发生断相运行。线路侧负荷开关配 DC 24V 电操机构，实现无外来交流电源时自启动。环网电路配置检测故障的电流互感器或其他传感器。

高压开关可靠性高、智能化，如 SF_6、压气式和真空负荷开关等。环网供电单元一般至少由 3 个间隔组成，即 2 个环缆进出间隔和 1 个变压器回路间隔。环网供电单元中负荷开关 QS_A 和 QS_B 在隔离故障线断开后，能及时恢复连续供电；与负荷开关 QS_C 相连的熔断器在变压器内部故障时起保护作用；QS_C 对熔断器和变压器起隔离和接地作用。

箱变用变压器将10kV降至380V/220V，容量为160～1 600kV·A，常用315～630kV·A。器身为三相三柱式或三相五柱式结构，Dyn11或Yyn0联结，熔断器连接在三角形绕组外部。三相五柱式Dyn11变压器带三相不对称负荷能力强，不会因三相负荷不对称造成中性点电压偏移，耐雷特性好。变压器运行检视仪器仪表齐全，如油位计、上层油温表及反映顶部气压强度的真空压力表等。

选用S9-M、S11M油浸式变压器（噪声不大于50dB）或新型干式变压器（噪声不大于55dB）时，干式变压器应配散热系统，大多选新S9或S11系列或非晶合金变压器，空载损耗很小，只有常规配电变压器的1/4～1/3，但一次成本稍高。

变压器设置有外露或安装在封闭隔室内，后者变压器室为防日照辐射，四壁添加隔热材料、双层夹板，顶盖带空气垫或隔热材料的气漏结构，内设通风道，有自动强迫排气装置。变压器室温度监控装置的整定值按允许温度的80%～90%设定，室内正常温度，自然通风散热。变压器室箱体上设加防尘装置的百叶窗，在变压器连接处大多加上绝缘防护罩。

低压侧出线保护配多路断路器或刀熔开关；配微机控制，自动循环投切无功补偿装置，补偿容量为变压器容量的10%～30%。低压开关配置智能控制器实现预警，提供信号单元、操作控制和计量，有RS—485接口。

2. 智能系统配备

智能箱变智能单元配置电源、接口器件、通信介质、控制系统、智能仪表等，用控制总线连接所有通信单元，由总线对开关、电网远程测、调、控、通信；用智能控制仪对高低压侧本地或远程测、调、控、信号传输；高低压侧分别配置智能系统。智能系统安装、布置、布线等符合电磁兼容要求。监控软件包括主回路、框架断路器、控制回路和配电系统信息等。智能系统的箱变可显示高压侧系统接线图，反映高压开关分、合状态；具有“四遥”功能；实现系统管理。

3. 主要功能

（1）计算机继电保护装置和控制设备　低压成套设备用计算机继电保护装置和控制设备后，管理中心对全系统管理。测控中心完整，可及时获得系统运行状态信息，准确及时、快速执行低压电器的投运及故障排除，高低压设备可靠性高。系统包括数字继电保护装置、控制设备及PLC。

（2）信息交换总线化与网络化　低压成套设备信息交换总线化为起点，实现数据交换网络化，如江苏镇安电力设备有限公司开发的“数字化电站

供电系统”，民用、军用效果良好，是总线化与网络化在供电系统中的良好体现。

（3）远距离测、调和信息查询　远距离测量包括遥信、遥测、遥调，并将采集的信息通过总线传输给各控制系统、检测系统或楼宇自动化系统等；远程调节包括各个子站上传、下载的设定值、保护参数和特性曲线操作等；远程控制包括远距离对断路器合分闸操作、远距离起动与停止等。

第五节　变电站的防雷及接地保护

避雷针与被保护物之间，应保持足够的安全距离，即 $S_k > 0.3R_{sh} + 0.1h$；$S_d > 0.3R_{sh}$，其中 R_{sh} 为避雷装置的冲击接地电阻；h 为被保护物的高度。

条件许可时，S_k 与 S_d 应尽量大。一般情况下，$S_k > 5m$，$S_d > 3m$。避雷装置接地电阻不能太大，否则将增加避雷装置的高度，成本增加。一般土壤工频接地电阻不大于 10Ω。

35kV 及以下配电装置的构架或房顶，用独立避雷针保护，装设在距离人行道路大于 3m，也可采取均压措施，或铺设 50 ~ 80mm 的沥青加碎石层。60kV 及以上配电装置，可将避雷针（线）安装于架构或房顶。

所有被保护的设备均应在避雷针保护范围内。

一、电气装置接地要求

1. 接地要求

（1）一般要求

① 接地。为保证人身和设备安全，电气设备外壳宜接地；交流电气设备充分利用自然接地体，但要校验自然接地体的稳定性；直流电路中，不应利用自然接地体作电流电路的接地线或接地体。

② 接地电阻。设计接地装置时，考虑土壤干燥或冻结等因素，保证接地电阻符合要求。

③ 接地距离。不同用途和不同电压的电气设备，除另有规定外，用一个总接地体，但电气设备的工作接地和保护接地，应与防雷接地分开，并保持安全距离。

④ 中性线。中性点直接接地的供用电系统中，装设能迅速自动切除接地短路故障的保护装置；中性点非直接接地的供用电系统中，装设迅速反映接地故障的信号装置，必要时可装设延时自动切除故障装置。

（2）防静电接地要求

① 可靠连接。车间内每个系统设备和管道应可靠连接，接头处接触电阻小于 0.03Ω。

② 接地连接。车间内和栈桥上等平行管道，相距约 10cm 时，每隔 20m 要互相连接一次；相交或相距近于 10cm 的管道，应互相连接，管道与金属构架相距 10cm 处要互相连接。

③ 气体场所接地。气体产品输送管干线头尾部和分支线处都应接地；贮存液化气体、液态氮氢化合物及其他有火灾危险的液体贮液罐，贮存易燃气体贮气罐等都应接地。

（3）特殊设备接地要求

①接地体。一般电气设备应单独接地体，与设备距离不大于 5m，接地体电阻不大于 10Ω，可与车间接地干线相连。对测量高频电源波形和其他参数的电子设备，宜独立接地，与车间接地干线距离不小于 2.5m。

② 中性接地。中性点不接地系统供电的电弧炉设备，外壳及炉壳均应接地，接地电阻不大于 4Ω；中性点接零系统供电的电弧炉设备，外壳和炉壳应采用接零保护。

③ 高压接地。高压试验室接地网接地电阻 1 ~ 4Ω，冲击设备应有独立接地网并自成回路，接地电阻不大于 10Ω。

2. 接地范围

① 按电压等级划分。1kV 以上电气设备应保护接地，变压器或发电机中性点无须直接接地；1kV 以下电气设备，变压器中性点不接地电网中，应采用保护接地；中性点直接接地电网中，应保护接零，如没有中性线也可保护接地。

② 按变压器与发电机划分。同一台发电机、变压器，或由几台发电机、变压器同一母线供电低压线路，只能采用一种保护方式，不可部分保护接地、部分保护接零。因接地接零混合时，当保护接地设备绝缘击穿时，因接地电阻影响，短路电流减小，保护开关不能动作，此时变压器中性点电位上升，使同系统中用接零保护的电气设备外壳带电非常危险。

3. 电气装置中必须接地部分

电机、变压器、断路器、其他电气设备金属底座、外壳；断路器、隔离开关等的操作机构；配电盘与控制盘的柜架；电流互感器及电压互感器的二次线圈；室内外配电装置的金属构架；电力电缆金属外皮；电缆终端头金属外壳；导线的金属保护管；居民区内无避雷线的小接地电流线路金属杆塔和钢筋混凝土杆；有架空避雷线的电力线路杆塔；配电线路构架上电气设备的金属外壳；避雷针、避雷器、避雷线及各种过电压保护间隙。

4. 电气装置中不需接地部分

安装在已接地金属构架上电气设备的金属外壳；配电盘和控制盘电气测量仪表、继电器低压电器外壳；控制电缆的金属外皮；额定电压 220V 及以下蓄电池金属支架；干燥场所，AC 127V 及以下、DC 110V 及以下电气设备外壳；木质、沥青等不良导电地面干燥房间内，AC 380V 及以下、DC 440V 及以下电气设备外壳，维护人员可能触及电气设备外壳和接地物件时除外。

二、接地电阻的确定

根据电力系统中性点运行方式、电压等级、设备容量，特别是允许的接触电压加以确定。

1. 1kV 及以上大接地短路电流系统

此时，单相接地就是单相短路，线路电压很高，接地电流很大。发生接地故障时，在接地装置及附近的接触电压和跨步电压很高。对这样的系统，发生单相接地短路时，继电保护立即动作，出现接地电压时间极短，产生危险较少。对此系统，规程允许接地网对地电压升高不大于 2kV，接地电阻 $R \leqslant 2\ 000/I_{CK}$，其中 I_{CK} 为计算用接地短路电流。设 $I_{CK} = 4\ 000A$，$R \leqslant 0.5\Omega$；$I_{CK} > 4kA$ 时，一年内任何季节 $R \leqslant 0.5\Omega$ 即可。

2. 1kV 及以上小接地短路电流系统

一年内任何季节要求接地电阻，高低压电气设备公用一套接地装置，对地电压小于 120V，R 不大于 $120/I_{CK}$；接地装置仅用于高压电气设备时，对地电压小于 250V，R 不大于 $250/I_{CK}$。两种情况要求接地电阻不大于 10Ω。

3. 1kV 以下中性点直接接地系统

三相四线制系统，发电机和变压器中性点接地装置接线地阻小于 4Ω。容量不大于 100kV · A 时，接地电阻不大于 10Ω；零线每一重复接地电阻不大于 10Ω。容量不大于 100kV · A 且当重复接地多于 3 处时，每一重复接地装置接地电阻不大于 30Ω。

4. 1kV 以下中性点不接地系统

此系统单相接地时，不会产生很大的接地短路电流。设计时采用 10A 为计算值，接地电阻不大于 4Ω，即接地时对地电压不大于 $10A \times 4\Omega = 40V$，保证低于 50V，电压安全。对 1kW 及以下电气设备，因接地短路电流更小，规定接地电阻不大于 10Ω。

降低接地电阻的方法：为保证人身和设备安全，接地装置接地电阻应满足规定，接地体应埋设在土壤电阻率较低的土层内。如变配电所和杆塔处土壤电阻率很高，附近有较低土壤电阻率土层时，可将接地线引至电阻率较低

的土层再集中接地，引线不大于60m；或换用土壤电阻率较低的土壤。如低电阻率土壤距离远，不便引线或换土，可用土壤重量的10%左右食盐，加木炭与土壤混合，或用长效减阻剂与土壤混合。

第六节　供配电系统的原则和要求

一、供配电系统的主要指标

1. 负荷分类

① 一级负荷。又称为保安负荷，供电突然中断时将造成人身伤亡，或重大设备损坏且难以修复，严重影响重要生产环节，要求由两个独立电源供电。对保安负荷必须备有应急可靠电源，为安全停产而应急使用的电源称为保安电源。

② 二级负荷。如突然断电将造成设备局部破坏，或生产流程紊乱且难以恢复，出现废品或减产，经济损失较大；在工业企业占比例最大，应由两个回路供电，两个回路应尽可能引自不同的变压器或母线段。

③ 三级负荷。其他电能用户，对供电无特殊要求，允许较长时间停电，可单回路供电。

2. 频率

我国电力系统额定频率50Hz，大型电力系统（50+0.2）Hz，中小系统（50+0.5）Hz。如高于额定值，异步电动机转速升高、功率损失，转速要求严格的生产过程如造纸、轧钢和拉丝等，产品质量下降或报废，电子设备受影响；当低于额定值，异步电动机转速下降，生产率降低，影响电动机寿命和产品质量；如频率降低多，水泵、风机等电动机出力下降，锅炉和汽轮发电机组出力受影响，电力系统有功功率不足，可能大面积停电。

3. 电压

电气设备按额定电压运行，可波动+5%。电压过高将损坏用电设备，电压过低时异步电动机输出转矩下降、转差加大、电流增大、温度升高。我国规定用户端35kV及以上电压供电用户，可波动+5%；10kV及以下电压供电用户，可波动+7%；低压照明用户，可波动-10%～+5%。

4. 波形

电力系统供电标准波形是正弦波。非标准正弦波时即有谐波。谐波影响电动机效率与正常运行，电力系统高次谐波危及设备安全、影响电子设备的工作，电力系统功率因数下降。变压器铁心饱和或没有三角形联结的绕组，负荷中有大功率整流设备等，会产生高次谐波。应防止并采取相应措施。

二、供配电系统的电压等级

1. 额定电压等级

标准规定三相交流电网和电力设备的额定电压，见表 3-37。

表 3-37　三相交流电网和电力设备的额定电压

（单位：kV）

分类	电网和用电设备额定电压	交流发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3、3.15	3、3.15
	6	6.3	6、6.3	6.3、6.6
	10	10.5	10、10.5	10.5、11
		13.8、15.75、18、20	13.8、15.75、18、20	
	35		35	38.5
	110		110	121
	220		220	242
	330		330	363
	500		500	525

① 电网额定电压。电力线路及与之相连变电所汇流母线的额定电压。

② 用电设备额定电压。与同级电网的额定电压相同，实际中用电设备电压允许 ±5% 变动。

③ 发电机的额定电压。比同级电网额定电压高 5%，电力线路有 10% 电压损耗，线路末端允许比电网额定电压低 5%。

④ 电力变压器额定电压。变压器直接与发电机相连时，一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，当变压器不与发电机直接相连，接在线路末端时，变压器一次绕组额定电压应与电设备相同；变压器二次绕组供给较长高压输电线路时，二次绕组额定电压比电网额定电压高 10%；供给较短输电线路时，额定电压可相比电网额定电压高 5%，见表 3-37。

2. 电压等级选择

输电距离和输电容量一定时，电压等级高线路电流小、线损低，压降小，导线截面积小；线路电压高，绝缘要求高，导线相间距离和对地距离增加，线路成本高，变压器和开关设备投资大。选择电压等级时应考虑技术经济因素。根据经验，选择线路电压等级见表 3-38。工矿企业供电电压视用电容量和地区电网而定。用电量很大的企业，以 110kV 或 220kV 供电，中

型企业 35kV 供电，用电量小的企业 10kV 供电，小用电企业 0.38kV 低压直接供电。

工矿企业内配电线路分高压和低压配电，前者多为 10kV，如工厂 6kV 高压用电设备较多，可选 6kV 作配电电压；如不多，可专用的 10/6.3kV 变压器单独供电。如厂区范围大，可 35kV 配电电压到车间，再直接降为低压供给低压用电设备。

企业内低压配电一般为 380/220V，采矿、石油和化工企业用 660V，煤矿井下用1 140V。目前还没有大规模采用 660V 电压配电。

表 3-38　线路电压等级的选择

额定电压/kV	输电距离/km	输电功率/kW
0.38(架空线) 0.38(电缆线)	≤0.25 ≤0.35	≤100 ≤175
6(架空线) 6(电缆线) 10(架空线) 10(电缆线) 35(架空线)	3～10 ≤8 5～15 ≤10 20～50	≤2 000 ≤3 000 ≤5 000 2 000～10 000
110(架空线) 220(架空线)	50～150 100～300	1 000～5 000 10 000～50 000
500(架空线)	200～850	1 000 000～1 500 000

三、电力系统的中性点接地方式

电力系统中发电机绕组通常用Y联结、变压器高压绕组通常Y联结，Y(Y̲)联结绕组中性点统称电力系统中性点。中性点接地方式有直接接地、不接地和经消弧线圈接地。中性点接地方式要综合考虑电力系统的过电压与绝缘、继电保护与自动装置的配置、短路电流、供电可靠性。中性点直接接地方式，系统发生单相接地故障时短路电流很大；中性点不接地和中性点经消弧线圈接地方式，系统发生单相接地故障时短路电流小。

1. 中性点直接接地系统

110kV 及以上电网采用中性点直接接地方式。实际运行时电网中性点并非全部同时接地，只有一部分接地，即合上中性点接地刀开关，其余则不接地即拉开其中性点接地刀开关。系统单相接地时短路电流在合适范围，满足继电保护动作灵敏度需要，但不能过大。一般单相短路电流不大于同一地点三相短路电流。此系统正常运行时，系统中性点没有入地电流或只有极小的三相不平衡电流。

当发生单相接地时，短路电流足够大，继电保护装置动作，迅速切除故障电路；系统非故障部分仍正常运行。接地故障线路停电，可在线路加装自动重合闸装置，如发生瞬时性接地故障，重合闸成功，停电约0.5s，系统供电可靠。单相接地电流较大，对邻近通信线路电磁干扰较强。

我国380/220V三相四线系统，中性点直接接地。

2. 中性点不接地系统

我国3kV、6kV、10kV、35kV系统，当单相接地时根据电容电流中性点不接地，具体规定为3～6kV电网单相接地电容电流不大于30A；10kV电网单相接地电容电流不大于20A；35kV电网单相接地电容电流不大于10A。

因中性点未接地，当发生单相接地时，只能通过线路对地电容构成单相接地回路，故障点流过很小的容性电流（电弧）自行熄灭。同时，系统三个线电压对称性未变化，用电设备正常工作，可靠性高。规程规定，中性点不接地系统发生单相接地故障可继续运行2h，在2h内找到接地点并消除。单相接地时电容电流近似计算公式如下：

对架空线 $I_C=\frac{UL}{350}$；对电缆 $I_C=\frac{UL}{10}$。其中 U 为线路额定电压；L 为各线路总长度。

3. 中性点经消弧线圈接地系统

3～35kV系统，当单相接地时电容电流大于前述规定值时，应采用中性点经消弧线圈接地。此时电容电流较大，产生断续电弧，电路中可能发生电压谐振，较危险，出现相电压高达2.5～3倍的过电压，线路绝缘薄弱处可能发生绝缘击穿。

消弧线圈是一个铁心带有气隙的可调电感线圈。当系统中性点经消弧线圈接地后，发生单相接地故障时，接地点电流是原电容电流 I_C 与新增加的电感电流 I_l 之差，I_C 与 I_l 相位差180°，故障点接地电流减少，电弧自行熄灭。

若调节消弧线圈使电感电流等于电容电流，完全抵消，达到全补偿。但全补偿时，消弧线圈感抗和非故障相对地分布电容容抗构成串联谐振，引起过电压，实际运行时不允许全补偿。通常用过补偿，使电感电流大于电容电流，接地点电容电流全被抵消后有很小的感性电流。过补偿方式可保证一些线路退出运行时不会产生谐振。

一般6～10kV系统中性点不必接地；35kV系统中性点经消弧线圈接地；在多雷区有的110kV系统中性点经消弧线圈接地。

四、工矿企业供配电系统

图 3-10 为大型用电容量供配电系统。工厂总降压变电所以 35kV、110kV 或 220kV 线路从电力系统受电，经主变压器降为 6kV 或 10kV 配电电压，送车间变电所，车间再降为 380/220V，供设备使用。图中高压配电所只有电能配送而无变压器变压。图 3-11 为中型用电容量供电系统，厂内不设总降压变电所，高压配电所直接从 10kV 或 6kV 线路系统受电。而小型用电容量配电仅低压线路受电，厂内设低压配电室，见图 3-12。

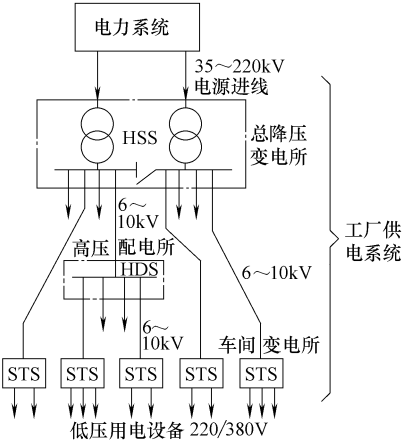


图 3-10　大型用电容量供配电系统

1. 总降压变电所电器主接线

根据用电负荷性质和容量，设 1 台或 2 台主变压器。主接线可选单母线、单母线分段、双母线、内桥式或外桥式等。

如为三类负荷时，主变压器可装 1 台；如对供电可靠性要求较高，在总降压变电所中装 2 台主变压器。主变一次侧通常装有高压断路器及隔离开关。当主变压器容量不大时，一次侧也可用高压跌落式熔断器。主变二次电压通常为 10kV，各 10kV 配电线路从 10kV 母线引出。工厂 6kV 电动机较多时，6kV 可作主变二次配电电压，如 6kV 电动机很少，10kV 为配电电压，再用 10/6kV 变压器专门向电动机供电。

（1）一次侧内桥式接线，二次侧单母线分段　如图 3-13 所示，有 2 条

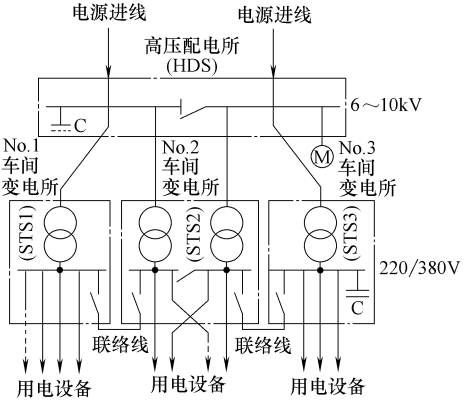


图 3-11　中型用电容量供电系统

供电线路且线路较长，此种接线可靠性高，称为内桥式接线。当一条电源线短路故障时，断路器自动切除故障线路，由另一路进线供电。

当主变压器发生故障时，与主变压器相连的一、二次侧断路器，包括桥断路器共 3 台都跳闸，将故障变压器与电源隔离，此时由一条进线、一台主变压器供电；如二次侧两段母线 QF20 原是合状态，用电不受影响；若 QF20 原是分断状态可自动合闸，备用电源自动投入，用电不受影响。为使无故障供电线路投入运行，可拉开故障变压器一次侧隔离开关，再合上已跳闸的两台断路器，就成两条进线和 1 台变压器带两段二次母线运行。

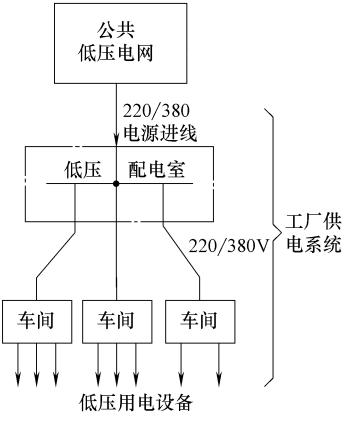


图 3-12　小型用电容量供电系统

（2）一次侧外桥接线，二次侧单母线分段　如图 3-14 所示，跨接于两条电源进线的“桥”位于两台进线断路器外。电源进线短，适用在网中构成环网。不经过两台进线断路器，对改善进线断路器的工作的条件和继电保

护装置整定有利；切换变压器方便，不涉及桥断路器。如峰谷负荷相差大，可在低负荷时切除 1 台主变压器。

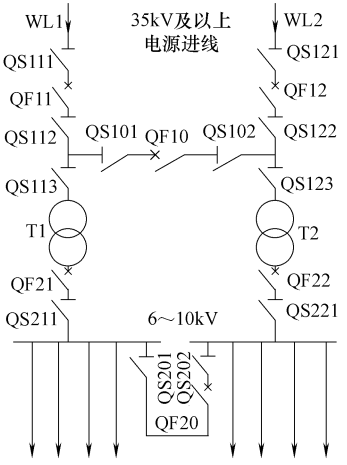


图 3-13　内桥式接线的总降压变电所主接线

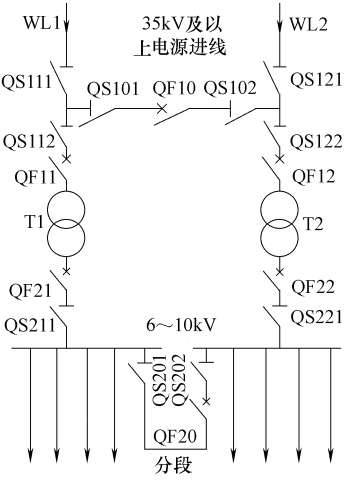


图 3-14　外桥式接线的总降压变电所主接线

（3）一次侧和二次侧均用单母线分段　若一次侧线路多于两条，可用单母线分段接线，见图 3-15。

（4）一次侧单母线分段，二次侧双母线　单母线分段的某段母线发生故障或检修时，该母线线路及变压器需停运。如一次侧发生此情况，不影响二次侧用电。当二次侧一个母线段发生此情况时，该段高压配电线路停电。二次侧用双母线接线，出线均通过两组隔离开关与两组母线相连，由母联断路器联络两组母线中有一组隔离开关合上，另一组隔离开关打开。可在不断电时将一条出线从一组母线转接到另一母线，母线计划检修时可不停电。当一组母线故障时，转换到另一母线，短时停电后继续供电，见图 3-16。

（5）一次侧和二次侧均用双母线　容量大的总降压变电所、供电要求高，一次侧和二次侧进出线多，总降压变电所主接线的一次侧和二次侧都可用双母线接线，见图 3-17。

2. 车间变电所主接线

一般以 10kV 线路从总降压变电所受电，经变压后 380/220V 供给设备，通常只设变压器室和低压配电室，变压器高压侧不安装断路器或只安装隔离

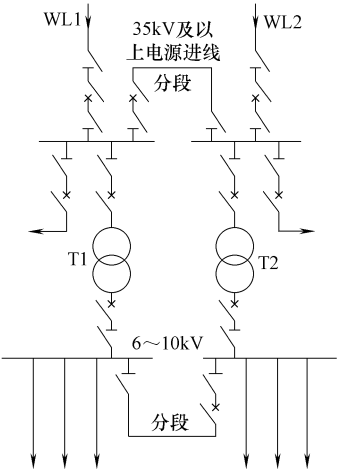


图 3-15　单母线分段

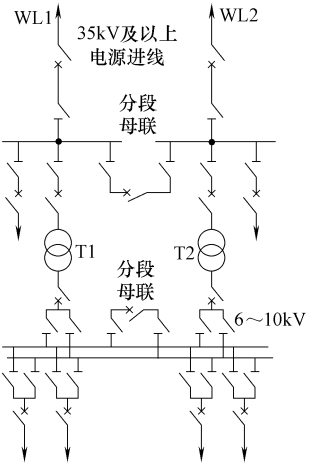


图 3-16　一次侧单母线分段，二次侧双母线

开关、熔断器及避雷器等。高压进线如全长为电缆线路，高压侧可不装避雷器，见图 3-18。

3. 中小型工厂变电所主接线

一般直接从 10kV 电网受电，采用一台或两台变压器，见图 3-19 和图 3-20。

4. 工厂高压配电网络接线方式

以 10（或 6）kV 线路向车间变电所供电，分放射式、树干式和环形等接线方式，并派生各种混合型方式。

（1）放射式接线　分单回路、双回路及带公共备用线路的放射式接线。单回路放射式供电可靠性低，适合三级负荷；双回路放射式供电可靠性高，满足一级负荷；带公共备用线路的放射供电式接线可满足二级负荷，如从邻近变电

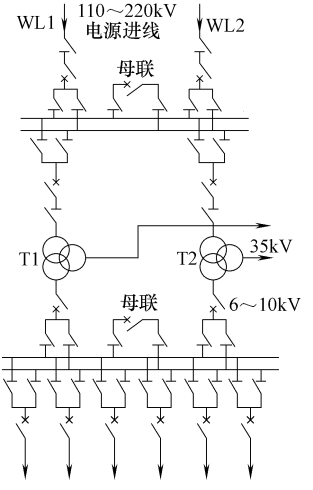


图 3-17　一、二侧均采用双母线接线

所得到低压备用电源，可满足少量一类负荷，见图 3-21 ~ 图 3-23。

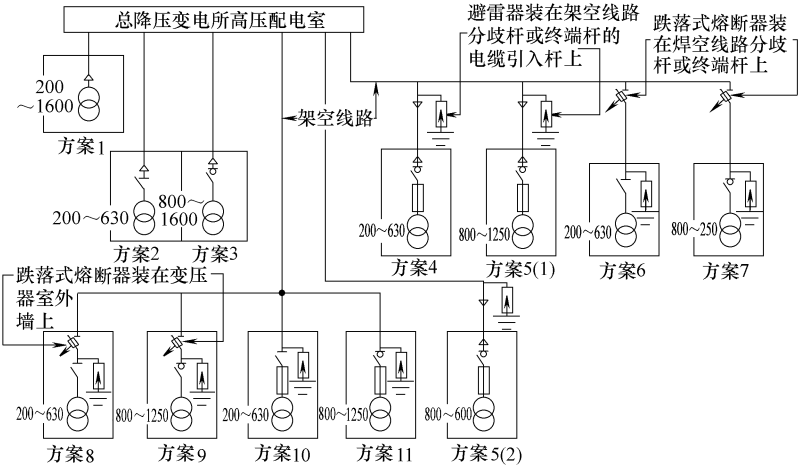


图 3-18　车间变电所

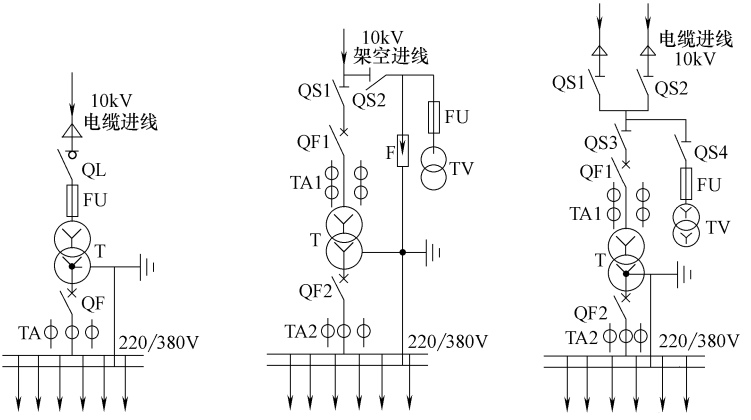


图 3-19　一台变压器的小型变电所接线

（2）树干式接线　投资少、可靠性低。干线故障或检修时，变电所及负荷停电，适合三级负荷。规定每条干线分支线不大于 6 条，各配电变压器总容量不大于3 000kV · A。如将电缆直接引到车间变电所高压母线，接成链串树干式接线，供电可靠性大幅提高，见图 3-24。

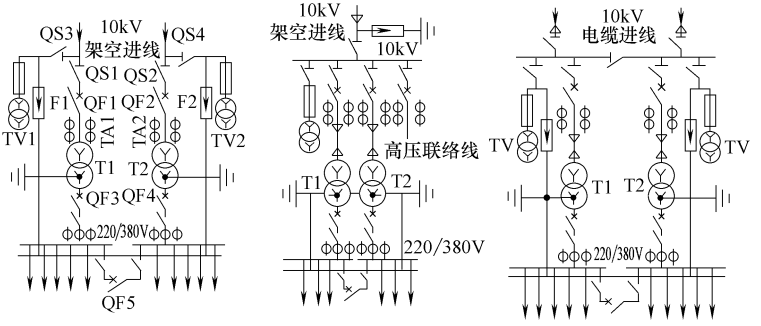


图 3-20　两台变压器的中小型变电所接线

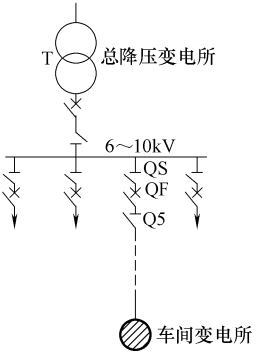


图 3-21　单回路放射式接线

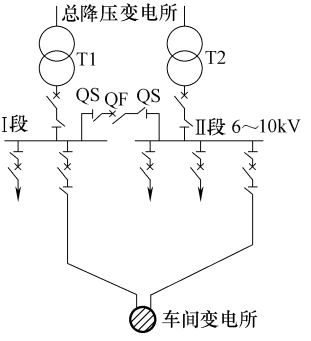


图 3-22　带公共备用线路的放射式接线

（3）环形接线　将两路链串形树干式接线在末端连接起来，构成环形接线，可靠、灵活。正常运行时一般开环运行；某段干线故障时，总降压变电所中的相应断路器跳闸。倒闸操作后，将故障段干线两端的隔离开关断开，开环处隔离开关闭合，最后合上总变压器中故障时跳闸的断路器，所有变电所恢复供电，适合二级负荷。此种接线的继电保护装置的参数整定比较麻烦；考虑到一端送电并带全部负荷，干线导线截面积选择稍大些，见图 3-25。

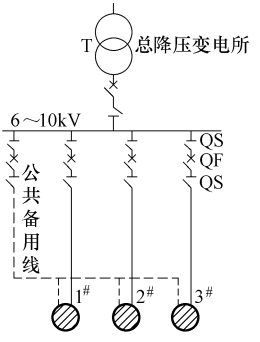
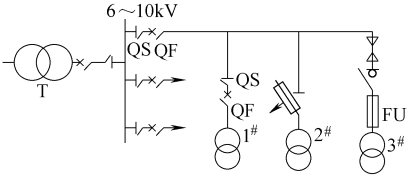
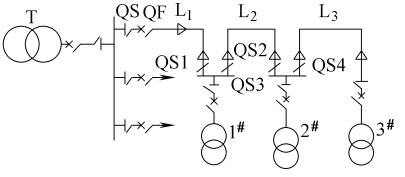


图 3-23　双回路放射式接线



a) 直接树干式



b) 链串形树干式

图 3-24　树干式接线

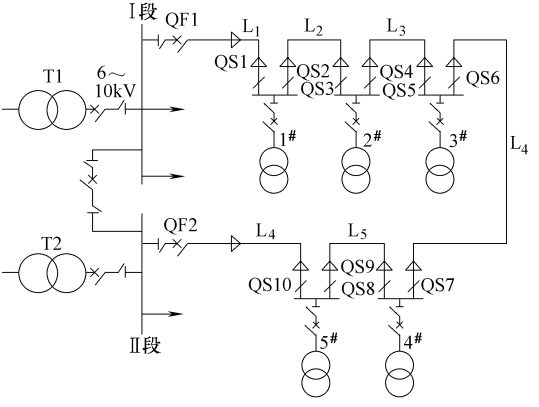


图 3-25　环形接线

5. 低压配电网络接线

由车间配电变压器低压侧母线引出 380/220V，到用电设备低压配电屏、配电箱。接线方式分为放射式、树干式和链式等。常用低压配电接线方式见表 3-39。为提高供电可靠性，可从相邻车间取低压备用电源。对起重设备滑触线，由变压器低压侧专用线路供电，保证起重设备端电压降不小于额定电压的 5%。

表 3-39 工厂低压配电常用接线方式

接线方式	特点与适用范围
放射式	引出线故障时,互不影响,可靠性较高;线路多、设备多;不灵活。适用于单台负荷量大、数量少、负荷较稳定,可靠性要求较高的车间
树干式	设备少、线路少;灵活;干线故障时,影响范围大。适用电负荷台数多、排列整齐、对可靠性要求不高的车间
链式	结构简单,成本低;公用一组熔断器,发生故障时影响面广。适用于小容量、不重要、但数量多又比较靠近的用电负荷

第七节 企业电力负荷的计算

一、几个重要规定

1. 电力负荷参数

① 日最大负荷 P_{max}：全天中最大的负荷 P_{max}，也称为高峰负荷。负荷曲线以整点值记录，即 P_{max} 并不是短时间内出现的尖峰负荷。

② 日最小负荷 P_{min}：全天中的最小负荷 P_{min}，也称为低谷负荷。

③ 日平均负荷 P_{av}：日负荷曲线下方图形面积，即若全天用电量 W，日平均负荷则为 $P_{av} = W/24$。

④ 年最大负荷 $P_{max.a}$：全年所有日的最大负荷 P_{max} 中的最大者。

⑤ 年平均负荷 $P_{av.a}$：全年负荷持续时间曲线下方图形的面积，是全年用电量 W_a，年平均负荷 $P_{av.a} = W_a/(365 \times 24)$。

⑥ 最大负荷年利用小时数 T_{max}：W_a 为年平均负荷 $\times 365 \times 24$h，是持续地年最大负荷 $P_{max.a}$ 用电 T_{max} 小时所用的电量，因而最大负荷利用小时数 $T_{max} = W_a/P_{max.a}$：T_{max} 参数较实用。同类企业 T_{max} 相近。

⑦ 负荷系数 K_L：$K_L = P_{av}/P_{max}$，负荷系数越高，接近于 1.0，表示一天中负荷变动平缓。

⑧ 最大系数 K_{max}：K_L 的倒数 K_{max}，表示最大负荷是平均负荷的倍数，$P_{max} = K_{max}P_{av} = P_{av}/K_L$。

⑨ 同时系数 $K_{\Sigma P}$：同一干线供电的各分支负荷不会同时出现最大值，各分支负荷最大值相加后要再乘以小于 1 的同时系数，等于干线上的最大负荷 $P_{max \cdot \Sigma}$，即 $P_{max \cdot \Sigma} = K_{\Sigma P} \sum P_{max}$。

无功负荷统计时乘以无功同时系数 $K_{\Sigma q}$。$K_{\Sigma P}$ 与 $K_{\Sigma q}$ 相差不大，根据经验，低压母线最大负荷，冷加工车间 0.7 ~ 0.8，热工车间 0.7 ~ 0.9；对高

压母线最大负荷，负荷小于5 000kW 为 0.9 ~ 1.0，负荷5 000 ~ 10 000kW 为 0.85，负荷大于 10 000 kW 时为 0.8。

2. 计算负荷

某一持续负荷，此负荷热效应与实际变动负荷所产生的最大热效应相等。将半小时内平均最大负荷定义为计算负荷 P_{ca}，作按发热条件选择导体截面积和电器设备的依据。

3. 尖峰电流

用电设备持续时间极短，约 1s 的最大负荷电流，用电动机起动时起动电流的周期分量，选择熔断器、保护元件和计算电压损失、电压波动。

4. 负荷计算方法

负荷计算方法有：按企业产品单位耗电值估算；按需求系数法计算；按二项式法计算；按利用系数法计算和用计算系数法计算。

二、用电设备的设备容量换算

1. 不同工作制时的容量换算

（1）长期连续工作制　通风机、水泵、空气压缩机、搅拌机、电炉、照明灯等连续运行，属长期工作制用电设备。设备容量即额定功率，不必换算。

（2）短时工作制　一些设备大部分时间停运状态，较短时间里运行，属短时工作制。设备容量即额定功率。

（3）反复短时工作制　起重设备用电动机、电焊机等用电设备，反复短时工作，属反复短时工作制用电设备，用暂载率 $\varepsilon\%$ 表示工作特征，即

$$\varepsilon\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100 = \frac{t}{T} \times 100 \tag{3-3}$$

式中　t——工作时间；

t_0——停歇时间；

T——工作周期，$T = t + t_0$。

反复短时工作制用电设备的额定功率都标注暂载率，如电动机暂载率有 15%、25%、40%、60% 等；电焊机暂载率有 50%、65%、75%、100% 等。

1）当采用需要系数法和二项式法求得计算负荷时，统一换算到 $\varepsilon\% = 25$ 时设备容量，即

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{25}}} = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon}{0.25}} = 2P_N \sqrt{\varepsilon} \tag{3-4}$$

式中　P_N——对应额定暂载率为 $\varepsilon\%$ 时的电动机铭牌功率；

P_e——换算后的设备容量。

2）用利用系数法求计算负荷时，统一换算到 $\varepsilon\% = 100$ 时的设备容量，即

$$P_e = P_N\sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon 100}} = P_N\sqrt{\varepsilon} \tag{3-5}$$

3）对电焊机和电焊变压器，统一换算到 $\varepsilon\% = 100$ 时的设备容量，即

$$P_e = S_N\cos\varphi\sqrt{\varepsilon} \tag{3-6}$$

式中 S_N——电焊机或电焊变压器在额定暂载率 $\varepsilon\%$ 时的视在功率；

$\cos\varphi$——相应于 S_N 时的功率因数。

2. 不对称单相负荷的容量换算

电力负荷计算需要三相对称，当有单相不对称，低于三相对称负荷总容量 15% 时可忽略；较大时，要换算成等效的三相负荷。

（1）一般方法　当既有线间负荷又有相负荷时，先将线间负荷换算为各相负荷，再将相负荷逐相分别相加，找出其中最大一相有功负荷乘以 3，即为等效的三相负荷。线间负荷换算为相负荷公式，即

$$\left.\begin{aligned} P_a &= P_{ab}p(ab)a + P_{ca}p(ca)a \quad & Q_a &= P_{ab}q(ab)a + P_{ca}q(ca)a \\ P_b &= P_{ab}p(ab)b + P_{bc}p(bc)b \quad & Q_b &= P_{ab}q(ab)b + P_{bc}q(bc)b \\ P_c &= P_{bc}p(bc)c + P_{ca}p(ca)c \quad & Q_c &= P_{bc}q(bc)b + P_{ca}q(ca)c \end{aligned}\right\} \tag{3-7}$$

式中 P_{ab}、P_{bc}、P_{ca}——接于 ab，bc，ca 线间负荷（kW）

P_a、P_b、P_c——换算为 a，b，c 相的有功负荷（kW）

Q_a、Q_b、Q_c——换算为 a，b，c 相的无功负荷（kvar）

p（ab）a，q（ab）a——将接于 ab 线间的负荷换算到 a 相负荷的换算系数，见表 3-40。

$$P_e = 3P_{\varphi(\max)} \qquad Q_e = P_e\tan\varphi_{(\max)} \tag{3-8}$$

式中 P_e——等效三相有功负荷；

Q_e——等效三相无功负荷；

$P_{\varphi(\max)}$——最大一相有功负荷；

$\tan\varphi_{(\max)}$——有功负荷最大相的功率因数角正切。

（2）只有线间负荷的简化换算　先将各线间负荷分别总加并排序，假设 $P_{ab} > P_{bc} > P_{ca}$，则 $P_e = 1.5\ (P_{ab} + P_{bc})$（当 $P_{bc} > 0.15P_{ab}$ 时），$P_e = \sqrt{3}P_{ab}$（当 $P_{bc} < 0.15P_{ab}$ 时），或 $P_e = \sqrt{3}P_{ab} + 1.268\ P_{bc}$，$Q_e = \sqrt{3}P_{ab}\tan\varphi_{ab} + 1.260\ 8P_{bc}\tan\varphi_{bc}$。

表 3-40　线间负荷换算为相负荷的有功无功换算系数

换算系数	负荷功率因数								
	0.35	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	1.00
p(ab)a,p(bc)b,p(ca)c	1.27	1.17	1.00	0.89	0.84	0.80	0.72	0.64	0.50
p(ab)b,p(bc)c,p(ca)a	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.20	0.28	0.36	0.50
q(ab)a,q(bc)b,q(ca)c	1.05	0.86	0.58	0.38	0.30	0.22	0.09	-0.05	-0.29
q(ab)b,q(bc)c,q(ca)a	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.80	0.67	0.53	0.29

【例 1】 求起重设备统一为 $\varepsilon\% = 25$ 时的总设备容量。其中，15t 桥式起重机 1 台，主钩 22kW、副钩 11kW、大车 16kW、小车 3.5kW，$\varepsilon\% = 40$；5t 桥式起重机 2 台，主钩 11kW、大车 10kW、小车 2.2kW，$\varepsilon\% = 25$；电动葫芦 4 台，功率 3.5kW，$\varepsilon\% = 15$，门式起重机 1 台，功率 36.5kW，$\varepsilon\% = 25$。

解　根据工况，副钩视为备用，不需计入，则有：

$$\sum P_e = 2\times(22+16+3.5)\times\sqrt{0.4}\text{kW}+(11+10+2.2)\times 2\text{kW}+2\times 3.5\times\sqrt{0.15}\times 4\text{kW}+36.5\text{kW}$$
$$= 146.24\text{kW}$$

【例 2】 求电焊设备统一为 $\varepsilon\% = 100$ 时总设备容量：直流弧焊机 1 台，26kW，$\cos\varphi = 0.88$，三相 380V，$\varepsilon\% = 75$；硅整流焊机 2 台，21kV · A，$\cos\varphi = 0.65$，三相 380V，$\varepsilon\% = 60$；电焊变压器 2 台，42kV · A，$\cos\varphi = 0.62$，三相380V，$\varepsilon\% = 60$（接 U_{ab}）；对焊机 1 台，75kV · A，$\cos\varphi = 0.6$，$\varepsilon\% = 20$，单相380V 接 U_{bc}；电焊机 1 台，50kV · A，$\cos\varphi = 0.4$，$\varepsilon\% = 20$，单相380V 接 U_{ca}。

解　根据工作制，① $P_e = 26\times\sqrt{\dfrac{0.75}{1.0}}\text{kW} = 22.5\text{kW}$　$Q_e = 22.5\times 0.54\text{kvar} = 12.14\text{kvar}$

（$\cos\varphi = 0.88$　$\tan\varphi = 0.54$）

② $P_e = 21\times 0.65\times\sqrt{\dfrac{0.6}{1.0}}\times 2\text{kW} = 21.15\text{kW}$

$Q_e = 21.15\times 1.17\text{kvar} = 24.72\text{kvar}$

（$\cos\varphi = 0.65$　$\tan\varphi = 1.17$）

③ $P_e = 42\times 0.62\times\sqrt{0.6}\times 2\text{kW} = 40.34\text{kW} = P_{ab} = 40.34\text{kW}$

④ $P_e = 75\times 0.6\times\sqrt{0.2}\text{kW} = 20.12\text{kW} = P_{bc} = 20.12\text{kW}$

⑤ $P_e = 50\times 0.4\times\sqrt{0.2}\text{kW} = 8.94\text{kW} = P_{bc} = 8.94\text{kW}$

总计时，先计算出无功负荷：

$Q_{ab}=P_{ab}\tan\varphi_{ab}=40.34\times1.265\text{kvar}=51.05\text{kvar}$

$Q_{bc}=P_{bc}\tan\varphi_{bc}=20.12\times1.333\text{kvar}=26.83\text{kvar}$

$Q_{ca}=P_{ca}\tan\varphi_{ca}=8.94\times2.29\text{kvar}=20.48\text{kvar}$

总设备容量：$\sum P_e=(22.5+21.15)\text{kW}+(1.732\times40.34+1.268\times20.12)\text{kW}$

$=(43.65+95.38)\ \text{kW}=139\text{kW}$

$\sum Q_e=(12.14+24.72)\text{kvar}+(1.732\times51.05+1.268\times26.83)\text{kvar}$

$=(36.86+122.25)\text{kvar}=159.11\text{kvar}$

$$S_e=\sqrt{139^2+159.11^2}\text{kV}\cdot\text{A}=211.27\text{kV}\cdot\text{A}$$

$$\cos\varphi=139/211.27=0.66$$

三、负荷计算方法

1. 需要系数法求计算负荷

（1）定义　计算负荷 P_{30} 时，需要综合考虑因素，如多台设备运行时，各台设备用电最大负荷不同时出现，计及同时系数；多台设备运行时，也不全是满载运行；各台用电设备效率小于 1.0，且供电线路有损耗。引入需要系数 K_d，即 $K_d=P_{30}/P_{e\Sigma}$　　(3-9)

式中　P_{30}——计算负荷，以 30min 内平均值负荷曲线上的最大负荷 P_{max}；

$P_{e\Sigma}$——同类用电设备组容量的总和。

各种设备类别和各种车间、各类企业需要系数见表 3-41 ~ 表 3-44。照明设备的功率因数见表 3-45，供参考。

表 3-41　低压用电设备需要系数

用电设备分类		K_d	$\cos\varphi$
单独传动的金属加工机床	冷加工车间	0.14 ~ 0.16	0.50
	热加工车间	0.20 ~ 0.25	0.55 ~ 0.60
压床、锻锤、剪床及其他锻工机械		0.25	0.60
连续运输机械	联锁	0.65	0.75
	非联锁	0.60	0.75
轧钢车间反复短时工作制机械		0.30 ~ 0.40	0.50 ~ 0.60
通风机	生产用	0.75 ~ 0.85	0.80 ~ 0.85
	卫生用	0.65 ~ 0.70	0.80
泵、压缩机、鼓风机等		0.75 ~ 0.85	0.80
透平压缩机和透平鼓风机		0.85	0.85
破碎机、筛选机、碾砂机、清砂机、运砂机、搅拌机等整砂机械		0.75 ~ 0.80	0.80

（续）

用电设备分类		K_d	$\cos\varphi$
磨碎机、球磨机		0.80～0.85	0.80～0.85
铸铁车间造型机		0.70	0.75
凝结器、搅拌器分级器等		0.75	0.75
感应电炉（不带无功补偿装置）	高频	0.80	0.60
	工频和低频	0.80	0.35
电阻炉（带调压器或变压器）	非自动加料	0.60～0.70	0.95～0.98
	自动加料	0.70～0.80	0.95～0.98
电弧炼钢炉	0.5～1.5t 电炉	0.65	0.80
	电炉变压器	0.90	0.87
	电炉辅助设备	0.15	0.50
加热设备	焊接用高频加热	0.50～0.65	0.70
	熔炼用高频加热	0.80～0.85	0.80～0.85
	生产用电阻加热（可调）	0.60	0.95
	生产用电阻加热（不可调）	0.80	0.95
	感应加热器（有铁心）	1.0	0.57
	实验室用电热器、电烘箱、电阻炉	0.70	0.95～1.0
	自动调节恒温箱	0.50	1.0
	干燥箱、加热器等	0.40～0.60	1.0
	氮预热器、空气预热器、干燥预热器	1.0	1.0
	生产用电熨斗	0.90	1.0
	加热炉用变压器	0.50	0.80
	感应加热变压器	0.40	0.40
起重设备	锅炉房、金加工、装配车间（$\varepsilon\%$ = 15%～25%）	0.05～0.15	0.5
	铸铁车间（$\varepsilon\%$ = 40%）	0.15～0.30	0.5
	轧钢车间（$\varepsilon\%$ = 60%）	0.25～0.35	0.5
	常用的升降机、起重机	0.40	0.5
	常用的电动葫芦	0.60	0.5
	不常用的升降机、起重机、电动葫芦	0.14～0.20	0.5
液泵	连续使用的循环液泵	0.85	0.85
	年使用在2 000h 以下的循环液泵	0.60	0.80
	年使用在 500h 以下的循环液泵	0.30	0.80
	酸液泵、输浆泵	0.80	0.85
	碱液泵、排污泵	0.71	0.84
	油泵、焦油工艺各种泵、给排水各种泵	0.80	0.80
	往复式真空泵	0.56	0.80
	水环式真空泵	0.78	0.80

（续）

用电设备分类		K_d	cosφ
专用压缩机	氢氮(煤气)压缩机	0.85～0.90	0.85
	高压氧气压缩机	0.73	0.89
	空气压缩机	0.75	0.75
	空调冷冻机	0.85～0.90	0.80
	食品工业氨压缩机	0.70～0.85	0.80
一般工业用硅整流装置		0.50	0.70
电焊机	点焊与缝焊	0.35	0.60
	对焊	0.35～0.42	0.70
	硅直流电焊机、氩弧焊机	0.35～0.40	0.35～0.60
	电子工业用点焊机	0.20	0.60
电焊变压器	自动或半自动焊接	0.50	0.50
	单头手动焊接	0.35	0.35
	多头手动焊接	0.40	0.35
	焊管用电焊变压器	0.13	0.60
焊接用电动发电机组	单头直流弧焊机	0.35	0.60
	多头直流弧焊机	0.70	0.75
阀门电动机	放灰、清灰、均压等阀门	0.20	0.5
	烟道、废气、冷热风、燃烧、安全等阀门	0.10	0.5
各种槽、桶、炉、池的开盖、倾倒、加料、出渣等		0.70	0.75
吊料机、吊煤机、拉丝机、卷线机、成绳机、绞紧机		0.40～0.60	0.65
喂料机、拌料机混合机		0.55～0.65	0.75
敲铁、敲块、落锤、打夯机械		0.24	0.65
钢筋加工机械		0.40	0.50
混凝土振动机、振动器		0.50	0.70
离心机、磁选机		0.65	0.70
造粒机、注浆机、振动筛、大型电机辅机等		0.65	0.75
电铲、电钻、隧道掘进机械		0.35～0.44	0.70
移动式电动工具		0.20	0.50
台钻及砂轮机		0.15	0.50
脱模机		0.22	0.50
翻斗机		0.30	0.65
电拖车		0.40	0.60
称量机		0.15	0.50

（续）

用电设备分类		K_d	cosφ
罐头空罐机、洗罐机、封罐机、罐盖打印机		0.5～0.6	0.95
筛粉机、磨刀机		0.40	0.50
卷烟切丝机、抽筋机、卷烟机、包装机		0.50	0.70
食品加工压榨机、压梗机、切碎机、破碎机、搅拌机、磨粉机、打粉机、压面机、包饺机等		0.70	0.80
卷扬机	一般工业用	0.40	0.65
	矿山用	0.30	0.50
	窑炉用	0.15	0.60
	钢铁车间主卷扬机	0.50	0.70
	电耙绞车、载货绞车	0.45	0.78
	桥梁、地铁、坑道的竖井升降机	0.65～0.75	0.80
	电梯	0.60	0.70
锅炉设备	引风机、排风机、鼓风机	0.90	0.85
	给水泵	0.85	0.85
	其他锅炉水泵	0.38	0.80
	给煤机	0.60	0.70
	炉排电动机	0.87	0.84
工业窑炉	转炉、回炉窑的主传动	0.80	0.82
	回转窑的辅助机械	0.60	0.75
	煅烧炉、干燥炉的回转机械	0.60	0.70
	筒形干燥器	0.55	0.80
	陶瓷隧道窑	0.80～0.90	0.95
	真空退火炉	0.30～0.40	0.80
	矿热炉	0.80～0.90	0.90
	化工合成炉	0.70～0.85	0.95
	熔化炉	0.90	0.87
	渗碳炉	0.50～0.60	0.95
	钨钢材料烧结炉	0.40～0.60	0.90
	拉单晶炉	0.70～0.75	0.90
	高炉	0.40	0.60
	窑门装置	0.20	0.50
连续传动的加工机械		0.60～0.65	0.75
轻工业自动线传送带		0.65	0.80
化工厂连续工艺过程用的各种电机		0.50	0.86
电线电缆工艺机械	制漆包线用微型机床、绕线机等	0.30	0.70
	线缆制造用拉线机、绞线机、包纱机、包纸机、铠装机、绝缘联动机、熔铜车间重型机床	0.40	0.65
	压延机及辅助机械	0.50	0.70

（续）

用电设备分类		K_d	cosφ
云母制品工艺机械		0.40	0.65
层状绝缘材料工艺机械		0.35	0.65
油漆树脂工艺机械		0.40	0.80
浸渍工艺机械		0.40	0.70
油漆调制、乳化、清洗机械		0.40	0.75
造纸机械	造纸备料车间运输设备	0.70	0.75
	纸浆原料加工设备	0.60	0.75
	制浆工艺机械	0.70	0.78
	纸浆回收车间机械	0.65	0.80
	造纸机转动、压光机、复卷机	0.70	0.80
	切纸机	0.40	0.50
	打包机	0.20	0.50
	水力碎浆机	0.60	0.80
	压力滤油机	0.70	0.75

表 3-42　民用建筑用电设备的需要系数

用电设备分类		K_d	cosφ
通风和采暖用电	各种风机、空调器	0.70～0.80	0.80
	恒温空调箱	0.60～0.70	0.95
	冷冻机	0.85～0.90	0.80
	集中式电热器	1.0	1.0
	分散式电热器(20kW 以下)	0.85～0.95	1.0
	分散式电热器(100kW 以上)	0.75～0.85	1.0
	小型电热设备	0.30～0.50	0.95
给排水用电	各种水泵(15kW 以下)	0.75～0.80	0.80
	各种水泵(17kW 以上)	0.60～0.70	0.87
起重运输用电	客梯(1.5t 及以下)	0.35～0.50	0.50
	客梯(2t 及以上)	0.60	0.70
	货梯	0.25～0.35	0.50
	输送带	0.60～0.65	0.75
	起重机械	0.10～0.20	0.50
锅炉房用电		0.75～0.85	0.85
消防用电		0.40～0.60	0.80
机修用电	修理间机械用电	0.15～0.20	0.50
	电焊机	0.35	0.35
	移动式电动工具	0.20	0.50

（续）

用电设备分类		K_d	cosφ
其他动力用电	打包机	0.20	0.60
	洗衣房动力	0.65～0.75	0.50
	开窗开闭机	0.10	0.50
家用电器		0.50～0.55	0.75
客房床头电气控制箱		0.15～0.25	0.60
窗式空调器		0.35～0.45	0.80

表 3-43　3、6、10kV 高压设备需要系数

高压用电设备组名称	K_d	cosφ
电弧炉变压器	0.92	0.87
铜炉	0.90	0.87
转炉鼓风机	0.70	0.80
水压机	0.50	0.75
煤气站排风机	0.70	0.80
空压站压缩机	0.70	0.80
氧气压缩机	0.80	0.80
轧钢设备	0.80	0.80
实验电动机组	0.50	0.75
高压给水泵电动机(异步电动机)	0.50	0.80
高压输水泵电动机(同步电动机)	0.80	0.92
引风机、送风机	0.80～0.90	0.85
有色金属轧机	0.15～0.20	0.70

表 3-44　车间低压负荷需要系数

车间名称	K_d	cosφ
铸钢车间(电炉除外)	0.30～0.40	0.65
铸铁车间	0.35～0.40	0.70
锻压车间(不包括高压水泵)	0.20～0.30	0.55～0.65
热处理车间	0.40～0.60	0.65～0.70
焊接车间	0.25～0.30	0.45～0.50
金工车间	0.20～0.30	0.55～0.65
木工车间	0.28～0.35	0.60
工具车间	0.30	0.65
机修车间	0.20～0.25	0.65

注：cosφ 是各项设备自然功率因数的均权统计值。

表 3-45　照明设备的功率因数

光源类别	cosφ
白炽灯、卤钨灯	1.0
荧光灯(无补偿)	0.55
荧光灯(有补偿)	0.90
高压泵灯	0.45～0.65
霓虹灯	0.40～0.50
高压钠灯	0.45
金属卤化物灯	0.40～0.61
镝灯	0.52
氙灯	0.90

（2）同类用电设备组的计算负荷　将用电设备按工作性质分组，各组按下式计算用电负荷，即

$$\left.\begin{aligned} P_{30} &= K_{\mathrm{d}} P_{\mathrm{e}\Sigma} \\ Q_{30} &= P_{30}\tan\varphi \\ S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \\ I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_{\mathrm{N}}} \end{aligned}\right\} \tag{3-10}$$

式中　S_{30}、Q_{30}——用电设备组的有功、无功计算负荷；

I_{30}——用电设备组的计算电源；

$P_{\mathrm{e}\Sigma}$——用电设备组的设备容量之和（不包括备用）（kW）；

U_{N}——用电设备额定电压线电压（kV）；

K_{d}——需要系数。

当设备台数 $n \leqslant 3$ 时，K_{d}可取比表中数据稍大的值，最大至 1.0。

（3）配电干线或车间变电所总负荷计算　各类用电设备组的计算负荷相加时，乘以同时系数，即

$$\left.\begin{aligned} P_{30} &= K_{\Sigma\mathrm{P}} \sum (K_{\mathrm{d}} P_{\mathrm{e}\Sigma}) \\ Q_{30} &= K_{\Sigma\mathrm{P}} \sum (K_{\mathrm{d}} P_{\mathrm{e}\Sigma\tan\varphi}) \\ S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \\ I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_{\mathrm{N}}} \end{aligned}\right\} \tag{3-11}$$

式中　$K_{\Sigma\mathrm{P}}$，$K_{\Sigma\mathrm{q}}$——有功负荷和无功负荷同时系数。

（4）配电所计算负荷　将各干线计算负荷相加后乘以同时系数，得配

电所计算负荷。计算时，从末端负荷逐级上到电源。凡分支负荷相加时都乘以同时系数，并计及无功补偿电容及变压器有功、无功损耗。估算时，取变压器有功损耗 ΔP_T 为变压器低压侧总计算负荷的 1.2% ~2%；无功损耗 ΔQ_T 为变压器低压侧总计算负荷的 6% ~10%。

【例 3】 某供电支线 10t 行车 1 台，行车电动机额定功率为 36.5kW，$\varepsilon=40\%$，如何得到供电支线的计算负荷？

先求设备容量，则

解 $P_e=2P_N\sqrt{\varepsilon}=2\times36.5\times\sqrt{0.4}\text{kW}=46.17\text{kW}$

取电动机 $\cos\varphi=0.8$、效率 $\eta=0.85$。单台电动机的功率为

$$P_{30}=\frac{P_e}{\eta}=\frac{46.17}{0.85}\text{kW}=54.32\text{kW}$$

$$Q_{30}=P_{30}\tan\varphi=54.32\times0.75\text{kvar}=40.74\text{kvar}$$

$$S_{30}=\sqrt{P_{30}^2+Q_{30}^2}=\sqrt{54.32^2+40.74^2}\text{kV}\cdot\text{A}=67.9\text{kV}\cdot\text{A}$$

$$I_{30}=\frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N}=\frac{67.9\times10^3}{\sqrt{3}\times380}\text{A}=130.29\text{A}$$

【例 4】 某机修车间 380V 低压母线 4 路干线向设备供电，冷加工机床 7.5kW 共 4 台、4kW 共 6 台；生产通风机 4.5kW 共 3 台，其中 1 台备用；生活通风机 1.5kW 共 8 台；水泵 2.8kW 共 2 台；连续运输机械 4 台（联锁），7kW；5t 行车 2 台，24kW，$\varepsilon\%=25$；1t 电动葫芦 3kW 共 2 台，$\varepsilon\%=25$；交流弧焊机 2 台，380V 单相，32kV·A，$\varepsilon\%=65$，$\cos\varphi=0.52$；白炽灯照明总容量 8kW。如何得到总计算负荷及功率因数？

解 列出负荷计算表，不计备用设备容量，设备台数 $n\leqslant3$ 时，K_d 可取稍大，见表 3-46。

表 3-46　机修车间 380V 母线负荷计算表

设备组名称	n 台	$P_{e\Sigma}$/kW	K_d	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV·A
冷加工机床	10	54	0.14	0.5	1.73	7.56	13.10	
生产用通风机	2	9	1.0	0.85	0.62	9.0	5.58	
生活用通风机	8	12	0.65	0.80	0.75	7.8	5.85	
水泵	2	5.6	0.9	0.80	0.75	5.04	3.78	
连续运输机械	4	28	0.65	0.75	0.88	18.2	16.02	
起重设备	4	54	0.15	0.50	1.73	8.1	14.01	
交流弧焊机	2	40.25	0.57	0.35	2.68	22.9	61.49	
照明		8	0.9	1.0	0	7.2	0	
小计	32	210.85				85.8	119.83	147.38

注：交流弧焊机为单相线间负荷，其等效三相设备容量 $P_e=(1.732+1.268)\times\sqrt{0.65}\times32\times0.52\text{kW}=40.25\text{kW}$，因是 2 台，$K_d$ 取值 0.35。

【例 5】 某小型矿山公司供电系统见图 3-26，采矿车间低压母线负荷数据见表 3-47，其他车间计算负荷及补偿电容数据见表 3-48，计算进线总负荷及功率因数。

解　将计算结果直接填入各表，未补偿电容前功率因数为 0.756，补偿后功率因数为 0.933。

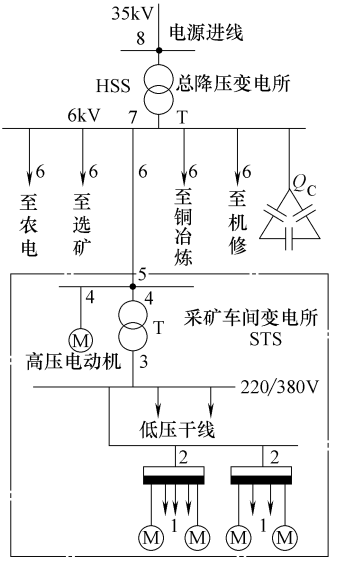


图 3-26　小型矿山公司供电系统

表 3-47　某小型矿山公司采矿车间负荷计算表

用电设备名称	$P_{e\Sigma}$/kW	K_d	cosφ	tanφ	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV·A	备注
空压机	150	0.85	0.82	0.7	127.5	89.25		按图 3-26 从 1～8 顺序逐级推算顺序计算
坑下水泵	225	0.75	0.8	0.75	168.75	126.56		
尾沙水泵	55	0.85	0.85	0.62	46.75	28.99		
生活水泵	56	0.9	0.8	0.75	50.4	37.8		
主扇	75	0.75	0.78	0.8	56.25	45		
通风机	30	0.85	0.8	0.75	25.5	19.13		
电耙	80	0.45	0.78	0.8	36	28.8		
碎矿机	40	0.58	0.71	0.99	23.2	22.97		
颚式破碎机	30	0.6	0.7	1.02	18	18.36		
电机式硅整流装置	100	0.75	0.75	0.88	75	66		
卷扬机	56	0.6	0.8	0.75	33.6	25.2		

（续）

用电设备名称	$P_{e\Sigma}$/kW	K_d	cosφ	tanφ	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV · A	备注
起重机,10kW, $\varepsilon=40\%$	12.6	0.25	0.6	1.33	3.2	4.2		逐级推算顺序计算
照明	8	0.9	1.0	0	7.2	0		
低压负荷小计	917.6				671.35	512.26		
乘同时系数, $K_{\Sigma P}=K_{\Sigma q}=0.9$					604.21	461.0	760	选1 000kV · A 变压器 1 台
变压器损耗					9.12	45.6		取 $\Delta P=1.2\%S_{30}$; $\Delta Q=6\%S_{30}$
变压器高压侧					613.33	506.6		
高压空压机	280	0.85	0.82	0.7	238	166.6		
全车间高压侧总计	1 197.6				851.33	673.2	1 085	cosφ = 0.785

注：起重机 $P_{30}=2P_N\sqrt{\varepsilon}=2\times10\sqrt{0.4}=12.6$kW。

表 3-48　某小型矿山公司各车间高压负荷计算表

车间或用电设备名称	设备总容量/kW	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV · A	备注
采矿车间	1 197.6	851.33	673.2	1 085	cosφ = 0.785
选矿车间	1 310	851	784	1 157	cosφ = 0.736
铜冶炼车间	3 210	1 284	1 154	1 726	cosφ = 0.744
机修车间	1 685	927	606	1 107	cosφ = 0.837
农业用电	1 083	650	736	982	cosφ = 0.662
小计	8 485.6	4 563.3	3 953.2	6 057	
乘以同时系数（取 $K_{\Sigma P}=K_{\Sigma q}=0.95$）		4 335	3 755.5	5 754	cosφ = 0.756
总降压变压器的损耗		68.83	344.1		$\Delta P=0.012S_{30}$ $\Delta Q=0.06S_{30}$
电容补偿容量			−2 400		
35kV 高压侧总负荷		4 403.83	1 699.7	4 720	cosφ = 0.933

2. 二项式系数法求计算负荷

需要系数法计算负荷时，不能考虑用电设备容量大但数量少的设备，计算结果偏小。二项式系数法额外计入少数最大容量用电设备，但计算结果可能偏大。此法适用于低压配电支干线和配电箱负荷计算，用电设备数量少但容量差别大时。

（1）用电设备组性质相同时

$$\left.\begin{aligned} P_{30} &= cP_x + bP_{e\Sigma} \\ Q_{30} &= P_{30}\tan\varphi \\ S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \\ I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} \end{aligned}\right\} \tag{3-12}$$

式中 P_x——用电设备中 x 台最大设备容量之和（kW）；

cP_x——x 台最大容量设备引起的附加负荷，c 是考虑 x 台最大容量设备影响系数；

$P_{e\Sigma}$——设备组容量总和，包括 P_x 在内（kW）；

$bP_{e\Sigma}$——相当于设备组日平均负荷，其中 b 是日平均负荷的系数。

常见用电设备组的二项式系数见表 3-49。

表 3-49 常见用电设备组的二项式系数

用电设备组名称	$cP_x + bP_{e\Sigma}$	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
小批生产加工机床	$0.4P_5 + 0.14P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
大批生产加工机床	$0.5P_5 + 0.14P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
通风机、泵、压缩机及发电机组	$0.5P_5 + 0.26P_{e\Sigma}$	0.65	1.17
连续运输机械(联锁)	$0.25P_5 + 0.65P_{e\Sigma}$	0.8	0.75
连续运输机械(不联锁)	$0.2P_5 + 0.6P_{e\Sigma}$	0.75	0.88
锅炉房、机修、装配	$0.4P_5 + 0.4P_{e\Sigma}$	0.75	0.88
机械车间起重机($\varepsilon\% = 25$)	$0.2P_3 + 0.06P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
铸工车间的起重机($\varepsilon\% = 25$)	$0.3P_3 + 0.09P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
平炉车间的起重机($\varepsilon\% = 25$)	$0.3P_3 + 0.11P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
轧钢车间的起重机($\varepsilon\% = 25$)	$0.3P_3 + 0.18P_{e\Sigma}$	0.5	1.73
自动装料连续电阻炉	$0.3P_2 + 0.7P_{e\Sigma}$	0.95	0.33
不连续装料电阻炉	$0.5P_1 + 0.5P_{e\Sigma}$	0.95	0.33
电镀用硅整流装置	$0.35P_3 + 0.5P_{e\Sigma}$	0.75	0.88

（2）多个用电设备组性质不同时

$$\left.\begin{aligned} P_{30} &= (cP_x)_{max} + \sum(bP_{e\Sigma}) \\ Q_{30} &= (cP_x)_{max}\tan\varphi + \sum(bP_{e\Sigma}\tan\varphi) \\ S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \\ I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} \end{aligned}\right\} \tag{3-13}$$

式中　$(cP_x)_{max}$——从多个设备组第一项（cP_x）中选最大者；

$\tan\varphi$——与所选的（cP_x）对应的功率因数正切值；

$\sum(bP_{e\Sigma})$——多个用电设备组平均负荷的总和。

（3）用电组设备总台数 n 较少时　当 $n=x$ 且≤3 台时，$P_{30}=P_{e\Sigma}$；如多组用电设备中每组设备 $n<x$ 值，可用每组（或多组）中第一项之总和作公式中的（cP_x）$_{max}$。

（4）注意事项　将所有用电设备按性质分组，不考虑地点、车间，按公式计算；不需要从末端负荷逐级向前计算，没有同时系数。

【例6】　某机修车间380V线路有冷加工机床电动机共50kW，其中7kW的1台，4.5kW的2台，2.8kW的7台，小功率电动机10台；另有通风机2台共5.6kW，电阻炉1台2kW。用需要系数法计算，见表3-50，用二项式系数法计算，见表3-51。

解　① 冷加工机床组。$P_{30}=0.4P_5+0.14P_{e\Sigma}$，$=(0.4\times21.6+0.14\times50)\text{kW}=15.64\text{kW}$

$$Q_{30}=15.64\times1.73\text{kvar}=27.1\text{kvar}$$

表3-50　用需要系数法计算负荷

用电设备组名称	台数 n	功率/kW	K_d	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV·A	I_{30}/A
冷加工机床	20	50	0.2	0.5	1.73	10	17.3		
通风机	2	5.6	0.9	0.8	0.75	5	3.8		
电阻炉	1	2	1.0	1.0	0	2	0		
总负荷,取 $K_{\Sigma p}=K_q=0.95$	23	57.6				16.2	20	25.74	39.1

表3-51　用二项式系数法计算负荷

设备组名称	总容量台数 n	大容量台数	$P_{e\Sigma}$/kW	P_x/kW	b	c	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kV·A	I_{30}/A
冷加工机床	20	5	50	21.6	0.14	0.4	0.5	1.73	15.64	27.1		
通风机	2		5.6		1.0	0	0.8	0.75	5.6	4.2		
电阻炉	1	1	2	2	0.5	0.5	1.0	0	2.0	0		
总负荷	23		57.6						22.24	31.26	38.36	58.35

② 通风机组 $P_{30}=0.25P_5+0.65P_{e\Sigma}$，但 $n=2$，$x=5$，$n<x$，取 $c=0$，$b=1$，则

$P_{30}=bP_{e\Sigma}=5.6\text{kW}$　$Q_{30}=5.6\times0.75\text{kvar}=4.2\text{kvar}$

③电阻炉组 $P_{30}=0.5P_1+0.5P_{e\Sigma}$，$n=x=1$，取 $\cos\varphi=1.0$，则

$P_{30}=(0.5\times2+0.5\times2)\text{kW}=2.0\text{kW}$　$Q_{30}=0$

总计算负荷为

$$P_{30}=(cP_x)_{max}+\sum(bP_{e\Sigma})$$
$$=8.64\text{kW}+(7+5.6+1)\text{kW}=22.24\text{kW}$$
$$Q_{30}=8.64\times1.73\text{kvar}+(7\times1.73+5.6\times0.75+0)\text{kvar}$$
$$=31.26\text{kvar}$$
$$S_{30}=\sqrt{22.24^2+31.26^2}\text{kV}\cdot\text{A}=38.36\text{kV}\cdot\text{A}$$
$$I_{30}=\frac{38.36\times10^3}{\sqrt{3}\times380}\text{A}=58.35\text{A}$$

可知，本法计算比需要系数法计算结果偏大。

3. 利用系数法计算负荷

用于各种范围的负荷计算，计算结果比上述方法接近实际值，但计算过程较复杂，实际应用不多。最大负荷班次内各设备组平均负荷与用电设备总容量之比称为利用系数，用 K_u 表示。用电设备组的利用系数见表 3-52。

表 3-52　不同用电设备类别的利用系数

用电设备类别	K_u	cosφ	tanφ
一般工作制小批量生产机床，如小型车床、刨床、插床、铣床、钻床、砂轮机等	0.1～0.2	0.50	1.73
大批量生产小型机床、刨床、铣床等	0.14	0.60	1.33
重工作制金属切削机床如冲床、自动车床、粗磨床、铣齿床、大型车床、刨床、铣立车床、镗床等	0.16	0.55	1.51
小批量生产热加工机床如锻锤传送装置、锻造机、拉丝机、清理转磨筒、碾磨机等	0.17	0.60	1.33
大批量生产金属热加工机床	0.20	0.65	1.17
生产通风机 生活通风机 泵、空压机 移动式电动工具	0.55 0.50 0.55 0.05	0.80 0.80 0.85 0.50	0.75 0.75 0.62 1.73
不联锁的提升机、带式运输机、螺旋运输机等连续运输机械	0.35	0.75	0.88
联锁的提升机、带式运输机、螺旋运输机等连续运输机械	0.50	0.75	0.88
起重机及电动葫芦（$\varepsilon\%=100$）	0.15～0.20	0.50	1.73
电阻炉、干燥箱、加热设备 实验室用小型电热设备	0.55～0.65 0.35	0.95 1.0	0.33 0

（续）

用电设备类别	K_u	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
电弧炼钢炉(3～10t)	0.60～0.65	0.87	0.56
单头电焊用电动发电机组	0.25	0.60	1.33
多头电焊用电动发电机组	0.50	0.70	1.02
单头电焊变压器	0.25	0.35	2.67
多头电焊变压器	0.30	0.35	2.67
自动弧焊机	0.30	0.50	1.73
缝焊机及点焊机	0.25	0.60	1.33
对焊机及铆钉加热器	0.25	0.70	1.02
低频感应电炉	0.75	0.35	2.67
高频感应电炉(用电动发电机组)	0.75	0.80	0.75
高频感应电炉(用真空管振荡器)	0.65	0.65	1.17

利用系数法计算过程如下：

1）求各用电设备组最大负荷班次的有功平均负荷及无功平均负荷，即

$$\left.\begin{aligned} P_{\alpha v} &= K_u P_{e\Sigma} \\ Q_{\alpha v} &= P_{\alpha v}\tan\varphi \end{aligned}\right\} \tag{3-14}$$

式中　$P_{e\Sigma}$——用电设备组容量总和，有反复短时工作制设备时，统一到 $\varepsilon\% = 100$。

2）求用电设备平均利用系数 K_{uav}（加权平均值），即

$$K_{uav} = \frac{\sum P_{av}}{\sum P_{e\Sigma}} = \frac{\sum K_u P_{e\Sigma}}{\sum P_{e\Sigma}} \tag{3-15}$$

式中　ΣP_{av}——各用电设备组有功平均负荷之和；

$\Sigma P_{e\Sigma}$——计算范围内所有用电设备设备容量总和。

3）求用电设备组的有效数。将各设备容量和不同工作制用电设备台数换算为相同容量和统一工作制 $\varepsilon\% = 100$ 的等效设备台数。

第八节　三相短路的计算方法

一、无穷大电源系统供给的短路电流

无限大容量电力系统，指容量相对用户供电系统容量大许多的电力系统，当用户供电系统负荷变动或短路时，电力系统变电所馈电母线上电压基本不变。

1. 短路

运行中电力系统或工厂供配电系统的相与相或者相与地之间发生的金属

性非正常连接。

2. 原因

系统中带电部分电气绝缘破坏，可能是电压、雷击、绝缘材料老化，以及误操作、施工机械的破坏、动物损害等。

3. 短路种类（见图 3-27）

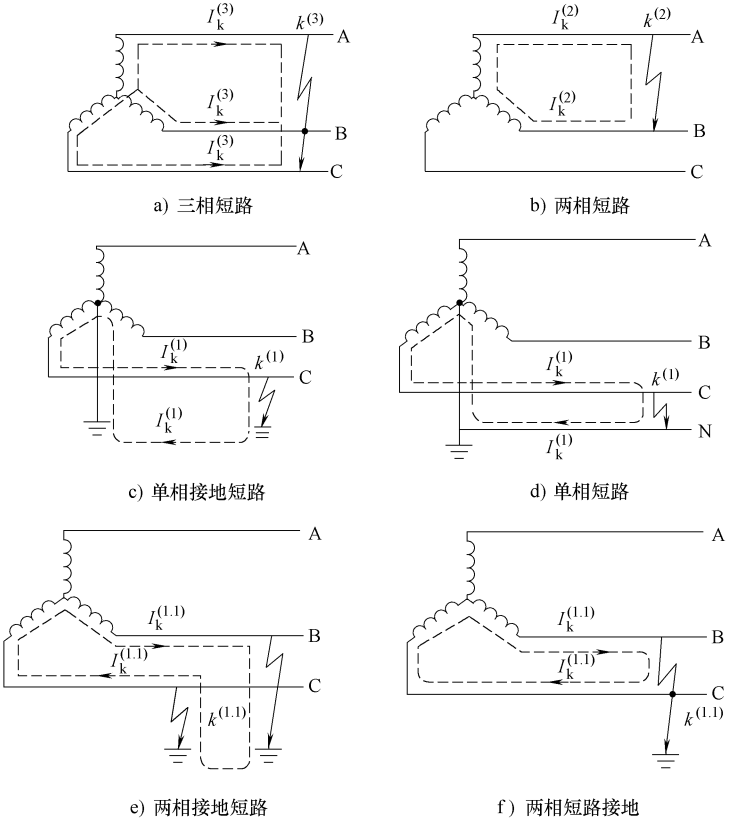


图 3-27　短路的种类

4. 短路参数

为正确选择和校验电气设备，避免短路电流损坏电气设备，保证供配电系统中出现短路时，保护装置可靠动作，应准确设定供配电系统的保护装置参数。

实际计算式，如电力系统电源总阻抗低于短路电路总阻抗的 5% ~

10%，或电力系统容量超用户供电系统容量 50 倍时，可视为无限大容量系统。最严重情况时短路全电流的波形曲线见图 3-28。

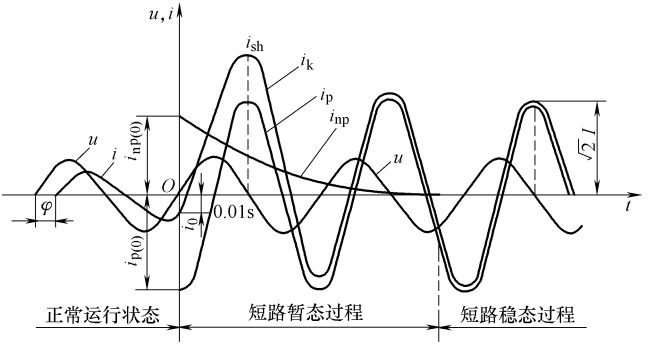


图 3-28　最严重情况时短路全电流的波形曲线

（1）$I''^{(3)}$　短路后第 1 个周期短路电流周期分量的有效值，即次暂态短路电流有效值。

（2）$i_{sh}^{(3)}$　短路后经半个周期时的短路电流峰值，是整个短路过程中的最大瞬时电流，称为短路冲击电流。

（3）$I_{sh}^{(3)}$　三相短路冲击电流有效值，短路后第一个周期内短路电流的有效值。

（4）$I_k^{(3)}$　三相短路电流稳态有效值。

（5）$S''^{(3)}_k$　次暂态三相短路容量。

5. 短路效应及危害

出现短路故障后，负载阻抗被短接，短路阻抗很小，短路电流很大，可达几万至几十万安培，产生的热和电动力效应对电气设备破坏性很大，短路电弧将烧毁电气设备，短路点附近电压下降明显，供电受影响或中断。不对称短路造成的零序电流，在邻近通信线路内产生感应电动势干扰通信，危及安全。

二、计算方法与步骤

供配电系统中某处发生短路时，一部分阻抗被短接，网路阻抗发生变化。计算短路电流时，先计算各电气设备的参数即电阻或电抗。

① 名值法。电气设备电阻、电抗及其他电气参数用有名值表示。

② 标幺值法。电气设备电阻、电抗及其他电气参数用相对值表示。

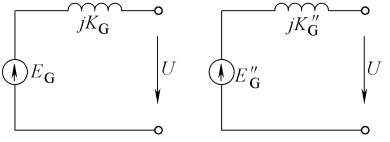
③ 短路容量法。电气设备的电阻和电抗及其他电气参数用短路容量表示。

具体步骤是绘制短路电路等效电路、计算短路回路中各元件的阻抗值、求等效阻抗、化简电路；计算三相短路电流周期分量有效值及其他短路参数；列短路计算表。

三、电网中各元件的等效电路

1. 同步发电机

同步发电机等效电路见图 3-29。正常运行时同步电动势 E_G 和同步电抗 X_G 串联，短路瞬间则变为由次暂态电动势 E_G'' 和次暂态电抗 X_G'' 相串联。短路计算中，还可近似认为次暂态电势 E_G'' 等于发电机额定电压 U_N。



a) 稳压运行时　　b) 短路瞬时

图 3-29　同步发电机等效电路

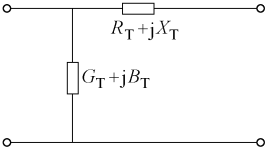


图 3-30　双绕组变压器等效电路

电抗值计算公式如下：

$$\left.\begin{aligned} X_G &= X_G\%\frac{U_N^2}{S_N} \\ X_G'' &= X_G''\%\frac{U_N^2}{S_N} \end{aligned}\right\} \tag{3-16}$$

式中　$X_G\%$——发电机同步电抗；

$X_G''\%$——发电机次暂态电抗百分数；

U_N——发电机的额定电压（kV）；

S_N——发电机的额定容量（MV · A）

2. 变压器

1）双绕组变压器等效电路见图 3-30，各参数计算公式如下：

$$\left.\begin{aligned} &\text{电阻}\quad R_T = \frac{\Delta P_k}{1\,000}\frac{U_N^2}{S_N^2} \\ &\text{电抗}\quad X_T = \frac{U_k\%}{100}\frac{U_N^2}{S_N} \\ &\text{电导}\quad G_T = \frac{\Delta P_0}{1\,000U_N^2} \\ &\text{电纳}\quad B_T = \frac{I_0\%}{100}\frac{S_N}{U_N^2} \end{aligned}\right\} \tag{3-17}$$

式中　U_N——变压器额定电压（kV），一般用高压侧值（也可视电网情况用低压侧值）；

S_N——变压器额定容量（MV · A）；

ΔP_k——变压器的短路损耗（kW）；

ΔP_0——变压器的空载损耗（kW）；

$U_k\%$——变压器短路电压百分数；

$I_0\%$——变压器空载电流百分数。

以上为变压器铭牌参数。等效电路中电阻、电抗单位为欧姆，电导、电纳单位为西门子。

2）三绕组变压器的等效电路见图 3-31，计算按下列公式：

$$\left.\begin{aligned} R_{T1} &= \frac{\Delta P_{k1} U_N^2}{1\,000 S_N^2} & X_{T1} &= \frac{U_{k1}\% U_N^2}{100 S_N} \\ R_{T2} &= \frac{\Delta P_{k2} U_N^2}{1\,000 S_N^2} & X_{T2} &= \frac{U_{k2}\% U_N^2}{100 S_N} \\ R_{T3} &= \frac{\Delta P_{k3} U_N^2}{1\,000 S_N^2} & X_{T3} &= \frac{U_{k3}\% U_N^2}{100 S_N} \\ G_T &= \frac{\Delta P_0}{1\,000 S_N^2} & B_T &= \frac{I_0\% S_N}{100 U_N^2} \end{aligned}\right\} \tag{3-18}$$

式中，$\Delta P_{k1} = \frac{1}{2}[\Delta P_{k(1\text{-}2)} + \Delta P_{k(1\text{-}3)} - \Delta P_{k(2\text{-}3)}]$；$\Delta P_{k2} = \frac{1}{2}[\Delta P_{k(1\text{-}2)} + \Delta P_{k(2\text{-}3)} - \Delta P_{k(1\text{-}3)}]$；$\Delta P_{k3} = \frac{1}{2}[\Delta P_{k(1\text{-}3)} + \Delta P_{k(2\text{-}3)} - \Delta P_{k(1\text{-}2)}]$；$U_{k1\%} = \frac{1}{2}[U_{k(1\text{-}2)}\% + U_{k(1\text{-}3)}\% - U_{k(2\text{-}3)}\%]$；$U_{k2\%} = \frac{1}{2}[U_{k(1\text{-}2)}\% + U_{k(2\text{-}3)}\% - U_{k(1\text{-}3)}\%]$ $U_{k3\%} = \frac{1}{2}[U_{k(1\text{-}3)}\% + U_{k(2\text{-}3)}\% - U_{k(1\text{-}2)}\%]$。

另外，S_N为变压器高压绕组铭牌额定容量；U_N用高压侧的额定电压，也可用中、低压侧的额定电压（要看折算到哪一侧进行网络计算方便而定）；$\Delta P_{k(1\text{-}2)}$、$\Delta P_{k(1\text{-}3)}$、$\Delta P_{k(2\text{-}3)}$ 均为变压器铭牌上的短路损耗数据；$U_{k(1\text{-}2)}\%$、$U_{k(1\text{-}3)}\%$、$U_{k(2\text{-}3)}\%$均为变压器铭牌上的短路电压数据。电抗器的等效电路仅是一个电抗，即

$$X_R = \frac{X_R\%}{100}\frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} \tag{3-19}$$

式中　$X_R\%$——电抗器的电抗相对百分数；

U_N——电抗器的额定电压（kV）；

I_N——电抗器的额定电流（kA）。

以上均为电抗器的铭牌参数。

3. 输电线路

一般输电线路如长度小于 300km 的架空线路或长度小于 100km 的电缆线路，多用 Π 型等效电路，见图 3-32。

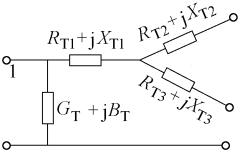


图 3-31　三绕组变压器等效电路

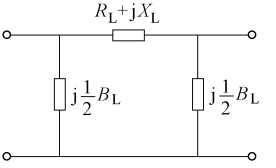


图 3-32　输电线路等效电路

$$\left.\begin{aligned} R_L &= \gamma_1 L \\ X_L &= x_1 L \\ B_L &= b_1 L \end{aligned}\right\} \tag{3-20}$$

式中　γ_1——每千米线路的电阻（Ω/km）；

x_1——每千米线路的电抗（Ω/km）；

b_1——每千米线路的电纳（s/km）。

以上可由导线规范查得。高压架空输电线路取 $x_1 \approx 0.4\Omega/\text{km}$；而电缆线路的电抗则小得多，一般为架空线路电抗的 1/6 ~ 1/4，L 为线路长度（km）。

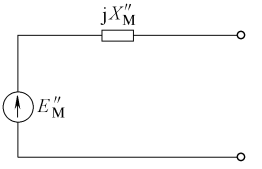


图 3-33　路瞬间异步电动机等效电路

4. 异步电动机

异步电动机在稳定运行时，相当于 1 个阻抗；然而在短路瞬间次暂态时段内，接在短路点附近（5m 以内）的较大功率异步电动机（高压电动机 800kW 以上、低压电动机 200kW 以上）却类似于一台发电机，也能向短路点提供短路电流。等值电路见图 3-33。图中 E''_M 为电动机次暂态电动势，可近似取为其额定电压的 90%。

$$E''_M = \frac{X_M\% U_N{}^2}{100 S_N} = \frac{1}{K_{st}} \frac{U_N^2}{S_N} \tag{3-21}$$

式中　K_{st}——电动机起动电流倍数，一般为 5 ~ 6.5。

第四章　电力电子技术

第一节　开关器件及典型电路

开关器件理想状态导通时压降低，关断时漏电流小，高效节能。按器件被控制程度，分为半控型和自关断器件，前者可控制导通而不能关断，如晶闸管及派生器件，关断由主电路电压和电流决定；后者为全控型器件，如绝缘栅双极晶体管 IGBT、电力场效应晶体管 MOSFET。按 PN 结数量，分为整流管类（1 个 PN 结）、晶体管类（2 个 PN 结）、晶闸管类（3 个 PN 结）。按器件关断方式，分为强制关断和自关断器件类。按封装形式，有单管、双管、多管、混合，模块、组件等，见图 4-1。常用器件有普通整流管、快速整流管、快恢复二极管、功率肖特基势垒二极管、普通晶闸管、快速晶闸管、逆导晶闸管、不对称晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管、GTO、IGBT、IGCT、功率 MOSFET、功率集成电路 PIC、高压集成电路 HVIC、智能功率模块 IPM、智能功率集成电路 SPIC 等。

一、不可控器件

相当于二极管，单向不可控。控制方便、可靠性高，广泛用于大功率直流电源。

1. 结构

不可控器件以 PN 结为基础，与普通二极管原理基本相同，功率比普通二极管大很多。普通二极管的结构与图形符号见图 4-2。普通整流管在 PN 结两侧引出电极封装。根据工艺及器件功率容量，有三种管芯结构，见图 4-3。

① P-N 结构：最简单，耐压高，正向压降大，不适用于高电压大电流。

② P^+-i-N^+ 结构：中间区域为低掺杂区，两边重掺杂区，正向压降小，为大功率普通整流管。

③ P^+-p-n-N^+ 结构：与第二种结构相似，大功率整流管结构。

2. 伏安特性

普通整流管的伏安特性曲线见图 4-4，具有单向导电性，可用于整流。

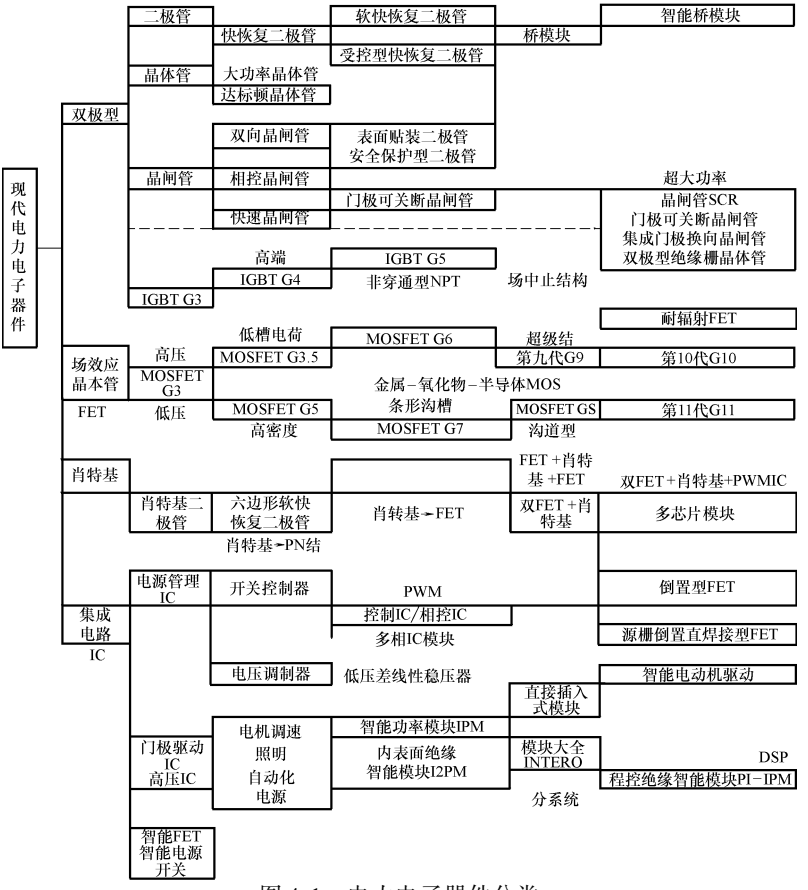
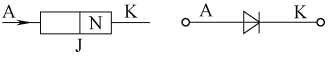


图 4-1　电力电子器件分类



a) 结构　　b) 符号

图 4-2　普通二极管的结构与图形符号

a) P－N结构　　b) P^+－i－N^+结构(i表示p或n)　　c) P^+－p－n－N^+

图 4-3　普通整流管的基本结构

3. 正向压降

包括基区体压降 U_M、结压降 U_j 和接触压降 U_B。基区体压降 U_M 起主要作用。

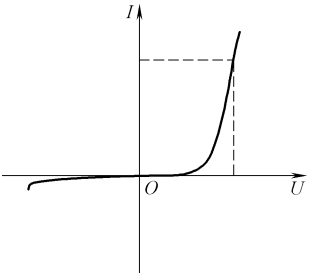
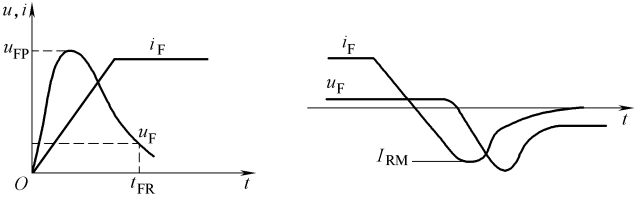


图 4-4　普通整流管的伏安特性曲线

4. 开关特性

即器件导通和截止状态之间转换时的特性。PN 结电荷量随外加电压而变化，呈结电容，状态转化中有延迟。伏安特性随时间不断变化，直到稳态。开关特性含正向导通和反向恢复，前者由截止到导通，通态压降先到过冲峰值 U_{FP}，经正向恢复时间 t_{FR} 恢复，通态压降稳定在特性值；后者由导通到截止，电流从通态平均电流下降到零，由于载流子抽取形成较大的反向峰值电流 I_{RM}，经一段时间，反向电流逐渐趋于器件的反向电流特性值，到稳定截止，见图 4-5。开关速度决定器件工作频率，普通整流管开关频率 <400Hz。处理高频电流信号时必须选用快恢复整流管。



整流管正向导通波形　　反向恢复波形

图 4-5　整流管正向导通和反向恢复过程波形

5. 额定值与特性值

额定值是器件在整个工作温度范围内必须符合的极限容量，如超额定值器件无法正常工作或永久失效；特性值是器件本身固有并可测量的值，每个器件都有特性值，标准或产品手册给出允许范围，如特性值参数超范围，一般不直接造成器件失效但性能下降。

（1）额定值

① 正向平均电流 $I_{F(AV)}$：1 个周期内正向电流的平均值，与电流波形有关，一般是规定壳温下的正弦半波电流。

② 正向方均根电流 $I_{F(RMS)}$：1 个周期内正向电流的方均根。

③ 正向浪涌电流 I_{FSM}：因电路异常引起，可使结温超额定结温但不导致器件损坏的不重复性最大过载峰值电流。

④ I^2t：浪涌电流二次方在持续时间内的积分值，选择快速熔断器时的重要参数，使快速熔断器的 I^2t 值≤器件的 I^2t 值。

⑤ 反向重复峰值电压 U_{RRM}：整流管两端出现的重复最大瞬时值反向电压。

⑥ 反向不重复峰值电压 U_{RSM}：整流管两端出现的任何不重复最大瞬时值瞬态反向电压。

⑦额定工作结温 T_{jm}：器件正常工作时允许的最高温度。

⑧ 储存温度 T_{stg}：器件在没有施加电压时的存放温度。

⑨ 紧固压力（力矩）M：保证器件与散热器良好接触的组装压力。

（2）特性值

① 正向峰值电压 U_{FM}：整流管通以 π 倍或规定倍数额定正向平均电流值时的瞬态峰值电压。

② 反向重复峰值电流 I_{RRM}：整流管加上反向重复峰值电压时的峰值电流。

③结壳热阻 R_{jc}：整流管结温和管壳规定点的温度差与引起温度差的耗散功率之比。

④ 接触热阻 R_{cs}：管壳基准点到散热器基准点之间温度差与耗散功率之比。

（3）电流额定　普通整流管电流的额定值一般用管壳额定方法，以管壳规定点温度为基准点，实际工作结温不超过且尽量接近最高允许结温为判据额定器件的正向平均电流。

6. 硅整流管模块

常见硅整流管模块内部结构见图 4-6。

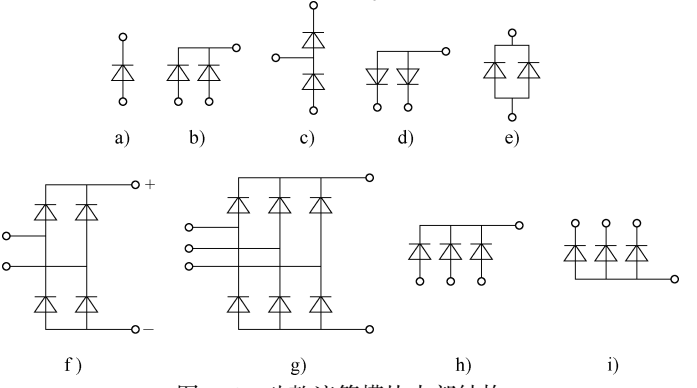


图 4-6　硅整流管模块内部结构

二、半控器件

晶闸管是半控型器件，主电压—电流特性至少在 1 个象限内导通、阻断两个稳定状态，可在两个稳定状态间转换，包括普通、快速和双向晶闸管等。一般指普通晶闸管。

1. 结构与原理

晶闸管属大功率半导体变流器件，其外形、结构和图形符号见图 4-7。由最外 P_1层和 N_2层引出两个电极，阳极 A 和阴极 K，中间 P_2 层引出门极 G。常用晶闸管有螺栓式和平板式，见图 4-7a。螺栓式晶闸管阳极（螺栓）拧紧在铝制散热器上，自然冷却；平板式晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧晶闸管，风冷却。额定电流 200A 以上为平板式结构。其结构可看成由 1 个 PNP 型和 1 个 NPN 型晶体管组成，见图 4-8。A 极相当于 PNP 型 V_1的发射极，K 极相当于 NPN 型 V_2的发射极。当 A 承受正向电压，G 极加正向电压时，V_2处于正向偏置，E_C提供门极电流 I_G就是 V_2 的基极电流 I_{B2}，V_2集电极电流 $I_{C2}=\beta^2 I_G$。I_{C2}等于 V_1基极电流，V_1集电极电流 $I_{C1}=\beta_1 I_{C2}=\beta_1\beta_2 I_G$ 。电流 I_{C1}又流入 V_2的基极再放大，形成正反馈，两个晶体管很快达饱和导通，即晶闸管的导通过程。导通后晶闸管压降很小，晶闸管中的电流即负载电流。

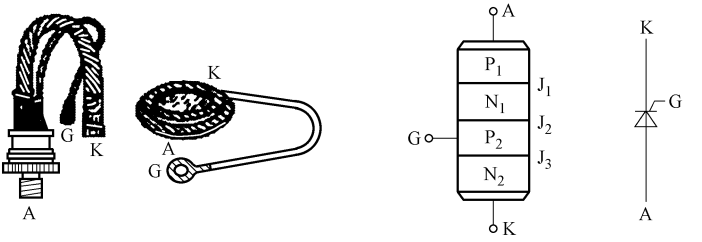
导通后靠晶闸管本身的正反馈维持，G 失去作用。要关断晶闸管，必须将 A 电流减到小于维持电流。具体是将阳极极电源断开、在 A 和 K 间加反向电压。

2. 伏安特性

阳极与阴极间电压 U_A和阳极电流 I_A的关系，见图 4-8。正向特性分为阻断和导通状态。正向阻断状态时，伏安特性随门极电流 I_G增加而呈不同的曲线簇。当 $I_G=0$ 时，逐渐增大阳极极电压 U_A，正向漏电流很小，为正向阻断；继续增加阳极电压达正向转折电压 U_{BO}时，漏电流突然剧增，由正向阻断突变为正向导通，在 $I_G=0$ 时增大阳极极电压强迫导通为“硬开通”，多次“硬开通”晶闸管将损坏。继续增大 I_G，U_{BO}迅速下降，当 I_G足够大时，U_{BO}很小，即正向电压导通。晶闸管正向导通特性与二极管相似。正向导通后，如要恢复晶闸管阻断，只有减小阳极电流 I_A降到小于维持电流 I_H，晶闸管由正向导通变为正向阻断状态。图 4-8 中 U_{DRM}、U_{RRM}为正、反向断态重复峰值电压；U_{DSM}、U_{RSM}为正、反向断态不重复峰值电压；U_{BO}为正向转折电压；U_{RO}为反向击穿电压。

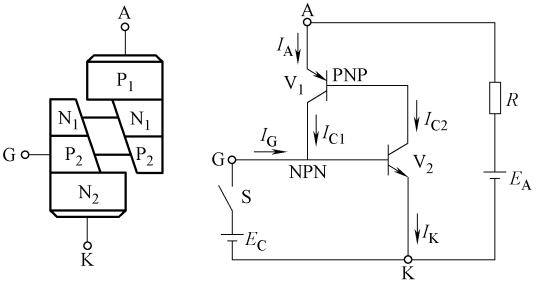
晶闸管承受反向阳极电压时，呈阻断状态，反向漏电流很小。当反向电

压增到一定值时，反向漏电流增加较快；再继续增大，导致晶闸管反向击穿，晶闸管永久性损坏，此电压为反向击穿电压 U_{RO}。

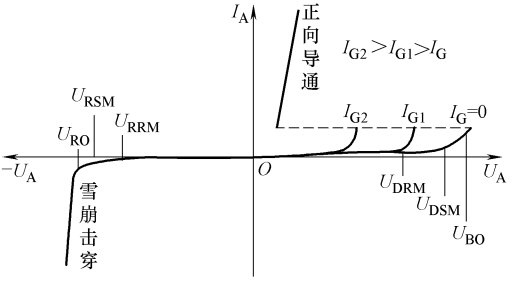


a) 外形　　b) 结构　　c) 图形符号

图 4-7　晶闸管的外形、结构和图形符号



a) 结构　　b) 工作原理



c) 伏安特性

图 4-8　晶闸管工作原理等效电路与伏安特性

3. 门极特性

导通由门极信号控制，包括门极触发电流 I_{GT} 和电压 U_{GT}、门极不触发电压 U_{GD} 和电流 I_{GD}、门极正向峰值电压 U_{GFM} 和电流 I_{GFM}、门极峰值功率 P_{GM}，见图 4-9。由 7 个参数构成 A1、A2、A3 三区域。A1 称为不触发区，A2 为不可靠触发区，A3 为可靠触发区。触发电路必须保证触发信号位于可靠触发区，同时保证可能引起的误触发信号在不触发区。触发灵敏度受温度影响很大，温度高易触发，I_{GT} 越小。

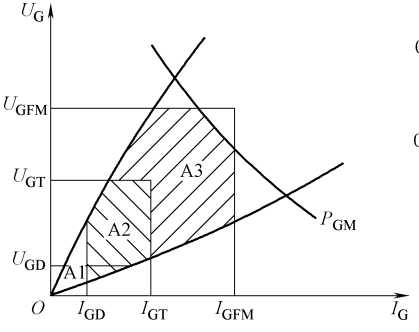


图 4-9　门极正向伏安特性曲线

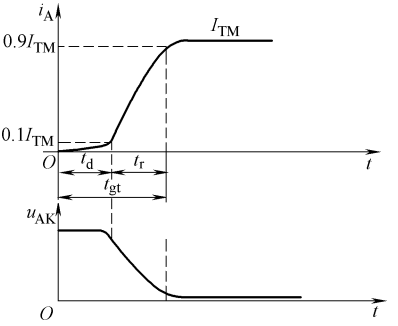


图 4-10　晶闸管开通电流、电压波形

4. 动态特性

动态特性包含开通、扩展和关断三部分，开通电流、电压波形见图 4-10。开通时，经延迟上升到稳态阳极电流，阴阳极电压从额定阻断电压经过延迟逐步下降到通态电压。开通时间 $t_{gt}=t_d+t_r$，t_d 为延迟时间，t_r 为上升时间。延迟时间受门极电流峰值影响，门极脉冲信号陡且高可缩短开通时间。延迟时间与门极正向峰值电流的关系见图 4-11。关断电流与电压波形见图 4-12，从阳极电流下降到零，经历关断时间 t_q 器件才能再次承受断态电压。t_q 含反向恢复时间 t_{rr} 和门极恢复时间 t_{gr}。t_q 增加了关断损耗，限制使用频率。t_q 随结温上升而增大，随反向电压增加而减小，随通态电流增大而增加。

5. 功耗

若纯阻性负载，正弦半波电流时，普通晶闸管通态平均损耗为

$$P_{AV}=U_{TO}I_{T(AV)}+r_T I^2_{T(AV)}\pi(2\alpha-\sin 2\alpha)/[2(1-\cos\alpha)^2] \tag{4-1}$$

当导通角为 180°时，有

$$P_{AV}=U_{TO}I_{T(AV)}+(\pi^2 I^2_{T(AV)}r_T)/4 \tag{4-2}$$

在电阻性负载条件下开通损耗 P_{on} 为

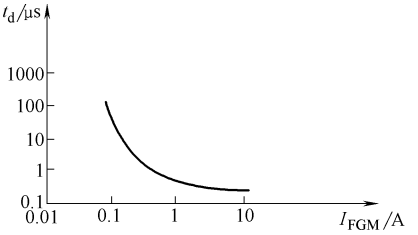


图 4-11　延迟时间与门极正向峰值电流的关系

$$P_{on} = fI_T U_{BF} t_r / 4.4 \tag{4-3}$$

式中，f 为开关频率；I_T 为开通后阳极电流；U_{BF} 为开通前阳极-阴极间电压；t_r 为上升时间。

在电阻性负载条件下关断损耗 P_{off} 为

$$P_{off} = fI_R U_R t_{rr} / 4.4 \tag{4-4}$$

式中，f 为开关频率；I_R 为反向恢复电流；U_R 为反向恢复电压；t_{rr} 为反向恢复时间。

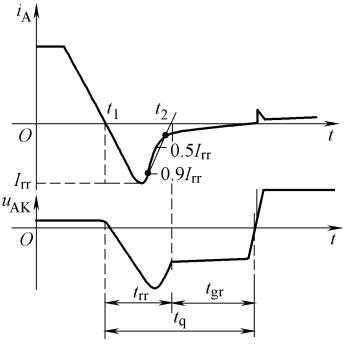


图 4-12　晶闸管关断电流与电压波形

6. 额定值

① 通态平均电流 $I_{T(AV)}$：规定壳温且工作在不超过额定最大结温条件下，电阻性负载的工频正弦半波、导通角 180°电路中，可通过一个周期内最大电流平均值。

② 通态电流临界上升率 di/dt：规定条件下晶闸管承受而无影响的最大通态电流上升率，测试 di/dt 通态电流波形见图 4-13；虚（实）线为大

（小）电流器件测试；di/dt 与器件扩展过程有关，如上升率太快，出现较小导通区域内通过大电流导致器件失效；di/dt 与工作结温、门极触发条件、断态电压及通态电流有关，使用时要选择适当的 di/dt。

③ 断态重复峰值电压 U_{DRM}：门极开路，额定结温下晶闸管可承受重复的最大正向峰值电压。

④ 反向重复峰值电压 U_{RRM}：门极开路，额定结温下晶闸管可承受重复的最大反向峰值电压。

⑤ 门极峰值功率 P_{GM}：在规定条件下，门极正向所允许的最大门极峰值电流和门极峰值电压的乘积。

⑥ 门极平均功率 $P_{G(AV)}$：规定条件下，门极正向允许的最大平均功率。

7. 特性值

① 维持电流 I_H：室温和门极断路时，晶闸管保持导通状态的最小通态电流。

② 擎住电流 I_L：晶闸管从断态到通态时，移除触发信号，维持通态的最小通态电流，通常为（2～4）I_H。

③ 门极触发电流 I_{GT}：常温且主电压直流 6V 时，晶闸管由断态到通态所需的最小门极电流。

④ 门极触发电压 U_{GT}：产生门极触发电流必需的最小门极电压。

⑤ 门极不触发电流 I_{GD}：额定结温下主电压为断态重复峰值电压时，晶闸管不能由断态到通态的最大门极电流。

⑥ 门极不触发电压 U_{GD}：晶闸管不能从断态到通态的最大门极电压。

⑦ 通态峰值电压 U_{TM}：晶闸管通以 π 倍或规定倍数的额定通态平均电流时的瞬态峰值电压。

⑧ 开通时间 t_{gt}。门极加信号从开始到导通到通态电流 90% 所需要的时间。

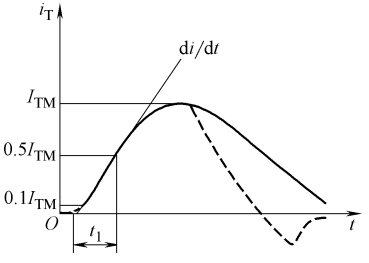


图 4-13　di/dt 通态电流波形

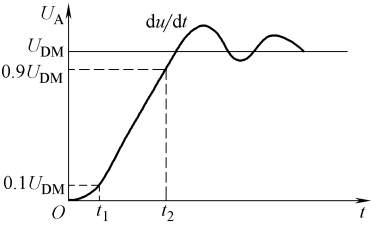


图 4-14　du/dt 电压波形

⑨ 电路换向关断时间 t_q：从阳极电流 I_A 下降到零时起至器件能承受规定的断态电压为止的时间间隔。

⑩ 断态电压临界上升率 du/dt：规定条件下，不产生从断态到通态的最大主电压上升率，测试电压波形见图 4-14。断态 du/dt 会导致对 J2 结的充电电流，如 du/dt 太大，充电电流足够大晶闸管可能误导通，尤其在晶闸管散热不好时；di/dt 值如太大，导通时很大电流集中在门极附近内，局部过热，晶闸管烧坏。普通晶闸管额定 di/dt 及 du/dt 级别分别按表 4-1 及表 4-2 规定。建议 di/dt = 100 ~ 300。

表 4-1　普通晶闸管 di/dt 级别　（单位：A/μs）

di/dt	25	50	100	150	200	300	500	800
级别	A	B	C	D	E	F	G	H

表 4-2　普通晶闸管 du/dt 级别　（单位：V/μs）

du/dt	25	50	100	200	500	800	1 000	1 500
级别	A	B	C	D	E	F	G	H

8. 典型参数

某型号普通晶闸管主要参数，见表 4-3，门极参数见表 4-4。表中 dv/dt、di/dt 参数满足一般要求，但主电路电压较高、器件发热比较严重、击穿比平常频繁时，要适当考虑 dv/dt、di/dt 选择或定制。

表 4-3　普通晶闸管主要参数

通态平均电流 $I_{T(AV)}$/A	断态重复峰值电压 U_{DRM}/V	反向重复峰值电压 U_{RRM}/V	维持电流 I_H/mA	通态峰值电压 U_{TM}/V	工作结温 Ti/℃	du/dt /(V/μs)	di/dt /(A/μs)	浪涌电流 I_{tsm}/kA	
								L(下限)	H(上限)
1	50 ~ 1 600		≤10	≤2.0	−40 ~ 100	A、B、C、D、E、F	—	0.013	0.019
3	100 ~ 2 000		≤30	≤2.2				0.036	0.056
5			≤60					0.064	0.09
10			≤100					0.13	0.19
20								0.24	0.38
30	100 ~ 2 200		≤150	≤2.4		B、C、D E、F、G	A、B	0.3	0.56
50			≤200					0.64	0.94

（续）

通态平均电流 $I_{T(AV)}$/A	断态重复峰值电压 U_{DRM}/V	反向重复峰值电压 U_{RRM}/V	维持电流 I_H/mA	通态峰值电压 U_{TM}/V	工作结温 Ti/℃	du/dt /(V/μs)	di/dt /(A/μs)	浪涌电流 I_{tsm}/kA	
100	100～3 000		≤200	≤2.6	－40～150	C、D、E、F、G	A、B、C	1.3	1.9
200							B、C、D、E	2.5	3.8
300			≤300					3.8	5.6
400							B、C、D、E、F	5.0	7.5
500			≤400					6.4	9.4
600								7.6	11
800			≤500					10	15
1 000								13	19

表 4-4　晶闸管的门极参数

通态平均电流 $I_{T(AV)}$/A	断态重复峰值电流 I_{DRM}/mA	门极触发电流 I_{GT}/A	门极触发电压 U_{GT}/V	门极不触发电压 U_{GD}/V	门极正向峰值电流 I_{GFM}/A	门极反向峰值电压 U_{GRM}/V	门极正向峰值电压 U_{GFM}/V	门极平均功率 $P_{G(AV)}$/W	门极峰值功率 $P_{G(AV)}$/W
1	≤3	≤20	≤2.5	≥0.2	—	5	6	—	—
3	≤8	≤60	≤3.0				10		
5									
10	≤10	≤100							
20									
30	≤20	≤150							
50		≤200			1			0.5	4
100	≤40	≤250	≤3.5		2		16	2	8
200					3			3	5
300	≤50	≤350							15
400			≤4.0						
500	≤60				4			4	20
600									
800	≤80	≤450							
1 000	≤120								

9. 保护功能

晶闸管可实现高压、大电流快速开关切换，因器件与电路的非理想特性，如通断的非瞬时性，元器件和线路寄生电容、杂散电感等，开关过程偏

离理想状况或造成损坏。主要有过电压、过电流和过热保护。因此，需要正确选用控制电路、合理的线路设计与工艺布线等。

（1）过电流保护

① 用快熔、快速开关、交流断路器等。快熔动作 20ms、交流断路器动作 0.1～0.2s，限制过电流故障进一步扩大。当快熔在交流侧时，熔体额定电流为 $I_{rn} \geqslant KIz_{max}$，$K$ 与整流电路形式及导通角有关，见表 4-5。

表 4-5　晶闸管整流电路不同导通角时的 *K* 值

整流电路形式	导　通　角					
	180°	150°	120°	90°	60°	30°
单相半波	1.57	1.66	1.83	2.2	2.78	3.99
单相桥式	1.11	1.17	1.33	1.57	1.97	2.82
三相桥式	0.816	0.828	0.865	1.02	1.29	1.88

当快熔接在整流桥臂时，熔体额定电流 $I_{rn} \geqslant 1.5I_{T(AV)}$。三相电源电压为 AC 380V，三相整流输出电压为 DC 300～500V 时，K 取值较小；三相电源为 AC 660V，整流电压在 DC 300～500V 时，K 取值适中；三相电源电压为 AC 1 140V，整流电压还是 DC 300～500V 时，K 取值较大。

② 电子电路作为过电流保护。电子电路快速检测过电流，具有灵活、快速的优点。

③ 过电流常用检测法。用电阻（分流器）或电流互感器检测流过功率器件的电流；检测流过负载上的电流是间接的测量方法，常用于电路中功率器件个数较多的场合。

过电流保护电路分集中和分散保护。前者检测逆变桥直流母线上的电流，当该电流值超阈值时，封锁所有桥臂功率器件驱动信号，见图 4-15。检测电流的霍尔传感器在直流侧，正常时保护电路输出 OC 高电平，当直流母线电流超阈值，LM311 输出由高电平变为低电平，经 *RC* 延时后，OC 将由高电平变为低电平。此低电平信号封锁逆变桥上所有 IGBT 驱动信号。*RC* 延迟电路用于抗干扰。

后者检测逆变桥各个桥臂上电流（或每一只功率器件的电流），当该电流超阈值时，封锁该桥臂上功率器件驱动信号。过电流分为过载和短路两种情况。图 4-16 为过电流保护及配置情况，常用快熔、过电流继电器。此法用于易发生短路的晶闸管，以及工作频率较高、难用快熔保护的全控型器件。

（2）过电压保护　分为外因和内因过电压两种情况。前者来自雷击和操作过程等，后者来自装置内部器件开关过程。图 4-17 包含各种过电压保

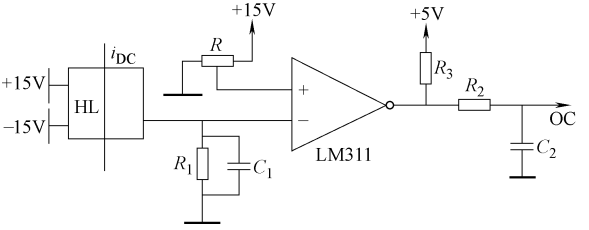


图 4-15　集中过电流保护原理

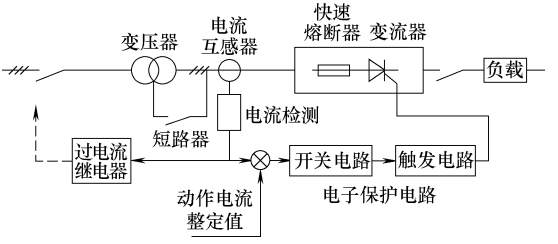


图 4-16　过电流保护措施及配置情况

护措施及配置情况，F 为避雷器，D 为变压器静电屏蔽层，C 为静电感应过电压抑制电容，RC_1、RC_2、RC_3、RC_4 为阻容保护电路，分别位于交直流侧，RV 为压敏电阻，RCD 为关断过电压抑制电路。视具体情况只采用其中的保护方式。过电压保护有交流和直流侧两种，交流侧保护有阻容保护、桥式阻容吸收电路和非线性电阻保护。

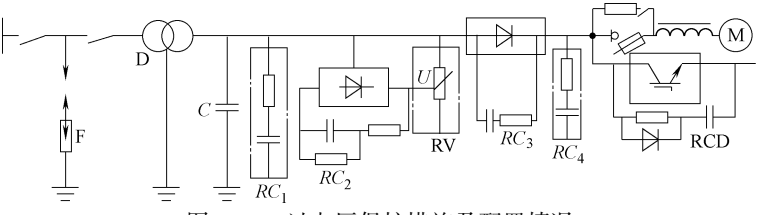


图 4-17　过电压保护措施及配置情况

① 交流侧阻容保护。具体阻容保护接法，见图 4-17，阻容取值经验计算公式为

$$\left.\begin{aligned} R &\geqslant 2.3(U_2^2/S)\sqrt{(U_Z/I_0)} \\ C &\geqslant 6I_0(S/U_2^2) \end{aligned}\right\} \tag{4-5}$$

式中　U_Z——整流变压器的阻抗电压，用额定电压% 表示，10 ~ 1 000kV · A 变压器，U_Z取（4 ~ 10）%；

I_0——变压器空载电流，用额定电流% 表示，10 ~ 560kV · A 变压器，取（4 ~ 10）%；

U_2——变压器二次相电压有效值；

S——变压器每相平均视在功率。

因变压器连接方式不同，以上阻容数值需要按表 4-6 修正。阻容保护△联结时，C 要小但耐压要高；阻容保护△联结时，C 要大但耐压要求不高、电阻值小。一般在增加 C 能降低作用在晶闸管的 $L\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 和 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$，但 C 太大，导致 R 功耗大、晶闸管导通时的 $L\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 上升；增加电阻利于抑制振荡，但 R 太大，降低电容抑制 $L\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 的效果。根据经验，R 一般 5 ~ 100Ω。

表 4-6　变压器连接方式不同时的阻容值

变压器连接	单相	三相二次 Y 联结		三相二次△联结	
	与变压器二次并联	Y 联结	△联结	Y 联结	△联结
电容	C	C	$(1/3)C$	$3C$	C
电阻	R	R	$3R$	$(1/3)R$	R

② 交流侧桥式阻容吸收电路。具体电路见图 4-18，阻容经验取值如下：

$$\left.\begin{aligned} &R \geqslant 3.3(U_2^2/S)\sqrt{(U_Z/I_0)} \\ &C \geqslant 6I_0(S/U_2^2) \end{aligned}\right\}\text{（变压器二次侧为 Y 联结时）} \tag{4-6}$$

$$\left.\begin{aligned} &R \geqslant 1.1(U_2^2/S)\sqrt{(U_Z/I_0)} \\ &C \geqslant 18I_0(S/U_2^2) \end{aligned}\right\}\text{（变压器二次侧为△联结时）} \tag{4-7}$$

③ 交流侧非线性电阻保护。阻容保护只将过电压限制在允许范围内时，当雷击、浪涌电压等产生超允许范围时，在采用阻容保护时再设置非线性电阻保护，如压敏电阻等。

④ 直流侧保护。晶闸管两端并联阻容吸收，见图 4-18。经验取值 $C = (2 \sim 4)I_T/1\ 000\mu\mathrm{F}$，$R = 10 \sim 30\Omega$。阻容保护的经验数据见表 4-7。

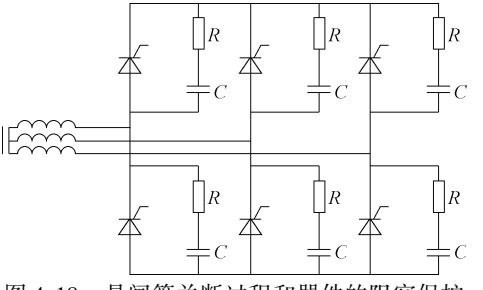


图 4-18　晶闸管关断过程和器件的阻容保护

表 4-7　阻容保护的经验数据

晶闸管额定电流 $I_{T(AT)}$/A	10	20	50	100	200 ~ 500	600 ~ 1 000	1 500 ~ 2 000	2 000 以上
C/μF	0. 1	0. 15	0. 2	0. 25	0. 47	0. 68	0. 82	1
R/Ω	100	80	40	20	10	5	5	5

10. 晶闸管串联

多只晶闸管串联或并联时，如电压和电流分配不均衡，器件容量不能充分利用，可能会造成损坏。因此要考虑特性选配、门极驱动特性、均压和均流电路等。

（1）串联电压分配　晶闸管电路工作周期中有正向阻断状态、反向阻断状态、导通状态、开通过程和关断过程。串联在导通时通态压降很小，不考虑电压分配均衡。阻断状态时，各串联器件漏电流相同。器件伏安特性的分散性引起阻断电压分配不均。串联伏安特性及静态分压见图 4-19，如 VT1 漏电流小，承受阻断电压较大。伏安特性受工作结温影响明显，同一器件在不同结温下运行时，漏电流不同，伏安特性不同，串联阻断电压分配不均衡，串联器件阻断时承受均衡电压，必须采取静态均压措施。串联晶闸管开通或关断时，两端电压急剧变化。因器件开通、关断时间分散，开关过程中的动态电压分配不均。关断时先关断器件承受动态电压高。器件开关时间与器件结构参数、触发信号等有关，影响串联器件的动态均压。

（2）串联静态均压　正或反向阻断时，为克服各器件因伏安特性分散引起的静态阻断电压分配不均，在串联器件二端并联均压电阻 R_P，见图 4-20。当 R_P远小于串联器件阻断时的漏电阻，电压分配取决于 R_P。串联 n 个器件，发生静态阻断电压分配最不均衡时如 VT1 漏电流最小，漏电流为 $I_{a,min}$，其余（$n-1$）只器件的漏电流均最大 $I_{a,max}$。VT1 在阻断时承受电压最高，其余器件各自承受电压相同。当各器件并联静态均压电阻均为 R_P。R_P越小，静态均压效果越好。通常 $R_P \leqslant (0.1 \sim 0.25)\ U_{KED}/I_{DRM}$，其中 U_{KED}为晶闸管的额定电压（V）；I_{DRM}为断态重复峰值电流 I_{DRM}（mA），见表 4-4。

（3）串联动态均压　串联动态电压分配不均是因器件本身特性和门极驱动等引起的开关速度不同产生的，可串联动态均压。

（4）关断时动态均压　串联晶闸管关断电荷影响关断速度，关断电荷少，关断速度快，先关断晶闸管动态电压最高，引起关断过程中动态电压不

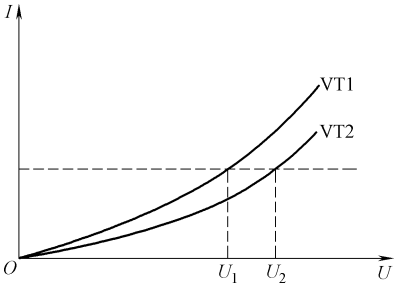


图 4-19　串联器件伏安特性及静态分压

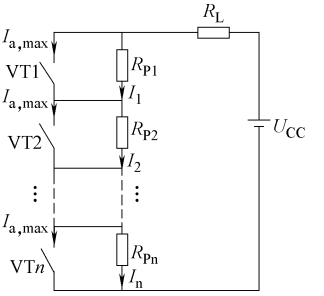


图 4-20　串联器件静态均压电路

均衡。可在各串联晶闸管两端并联均压 RC，图 4-21 中 n 只晶闸管串联，C_S 是均压电容，R_S 是为限制电阻。C_S 越大，关断动态均压效果越好，但 R_S 功率损耗增加，当器件工作频率 f 高时，损耗更大。器件串联时动态均压阻容的经验数据见表 4-8。

表 4-8　晶闸管串联时动态均压阻的容经验数据

晶闸管额定电流 $I_{T(AV)/A}$	1 ~ 5	10 ~ 20	50 ~ 100
$C/\mu F$	0.01 ~ 0.05	0.1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.5
R/Ω	100	50	20

C 的交流耐压可选择稍大于 Vm/n。

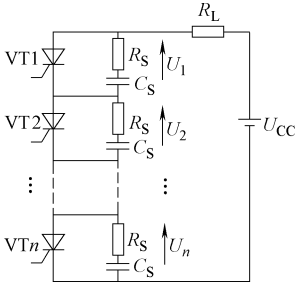


图 4-21　串联器件动态均压电路

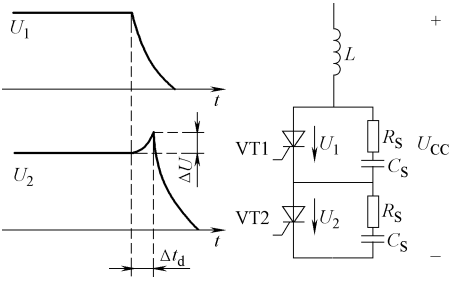


图 4-22　多个串联器件开通动态均压电路

（5）开通时动态均压　串联晶闸管开通时因延迟时间，开通时间不同，后开通的晶闸管必须承受最高动态过冲电压。图 4-22 为多个串联器件开通动态均压电路，VT1 是在串联中先开通的，VT2 为后开通的。VT1 开通时，负载电流流入 VT2 的 RC 电路，在 VT2 上引起的过冲电压 ΔU 为

$$\Delta U = \frac{U_{CC}R_S}{L}\Delta t_d + \frac{U_{CC}}{2LC_S}\Delta t_d^2 \tag{4-8}$$

式中，Δt_d为 VT1 和 VT2 开通延迟时间差。电压不均衡是开通延迟时间差Δt_d和串联电阻 R_S造成的，可引入电感 L。

（6）串联应用　串联应用是柔性交流输电和高压直流输电技术的核心。元器件保护、动态和静态均压、反向恢复过冲的抑制、开通关断缓冲等技术，由 RC 完成，见图 4-23。串联高压电路中各晶闸管触发不一致或有器件丢失脉冲，后导通或不导通的晶闸管可能造成过电压击穿。一般用有雪崩击穿特性的转折二极管 BOD 作为过电压保护。因 BOD 反向阻断能力差，高压二极管 VD 阻断反向电压。

当主晶闸管承受开通过程中过电压电超 BOD 转折 U_{BO}时，BOD 击穿，R_2上的电压超稳压二极管 VS 的击穿电压使晶闸管触发导通，抑制过电压升高。R_1限制 BOD 击穿时的正向电流，R_S、C_S是晶闸管门极抗干扰。R_S抑制回路电感与 C_S引起的振荡，并抑制晶闸管开通时 C_S放电电流。$R_S = 10 \sim 30\Omega$，见图 4-24。

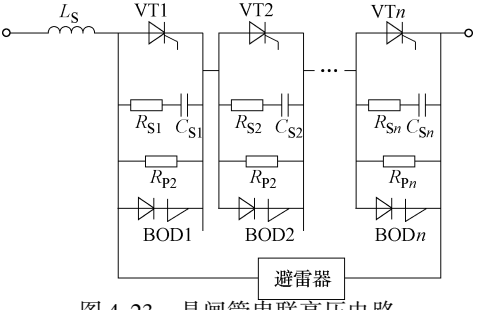


图 4-23　晶闸管串联高压电路

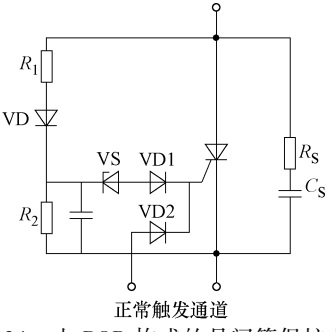


图 4-24　由 BOD 构成的晶闸管保护电路

11. 晶闸管并联

（1）电流分配　并联时各晶闸管伏安特性的分散性、通断不同步、各路阻抗差异等，稳态电流和开关过程中动态电流不均衡。稳定导通状态时，通态压降相同；当稳态伏安特性不一致，导通电阻 R_{on} 失配时，R_{on} 值小的晶闸管电流大，引起静态电流不均。稳态伏安特性分散对静态分流的影响见图 4-25。

（2）解决措施

1）串联电阻法：无实际价值。

2）串联电抗法：用 1 个铁心带 2 个相同的线圈均流电抗器，接在 2 个并联晶闸管中，当 2 个线圈电流相同，铁心内励磁抵消；如电流不同就产生环流，此环流使电流小的晶闸管电流加大，电流大的管子电流减小，实现均流。并联较多器件时，可采用与晶闸管数量相同的均流电抗器，相邻支路中串联极性相反、匝数相同的线圈，电流不均衡时，感应电动势使各支路保持平衡。对均流电抗器选择，确定铁心截面积 A 和线圈匝数 N，$N \leqslant 4$ 时，有

$$A = \Delta U_T / K_j f N B \tag{4-9}$$

式中　ΔU_T——并联器件正向压降差的最大值（V）；

K_j——周期与器件导通时间之比，单相时 $K_j = 2$，三相时 $K_j = 3$；

f——电网频率；

B——铁心磁通密度（T），根据经验按额定电流 $I_{T(AV)}$ 和匝数从表 4-9 中选择。

表 4-9　均衡电抗器磁通密度 *B* 的选择

额定电流/A	匝　数			
	1	2	3	4
50	0.45	0.35	0.6	0.65
100	0.5	0.6	0.65	0.7
200	0.55	0.65	0.7	0.75

选用特性参数分散性小的器件，以及同厂家、同型号、同批次的器件进行并联。晶闸管并联均流电路见图 4-26。

12. 晶闸管模块

晶闸管模块常用内部结构见图 4-27。

三、全控器件

1. 门极可关断晶闸管

简称 GTO，用负门极信号关断，属全控型器件，耐压高、电流大、控制

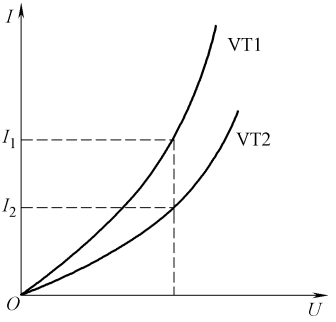


图 4-25　稳态伏安特性分散对静态分流的影响

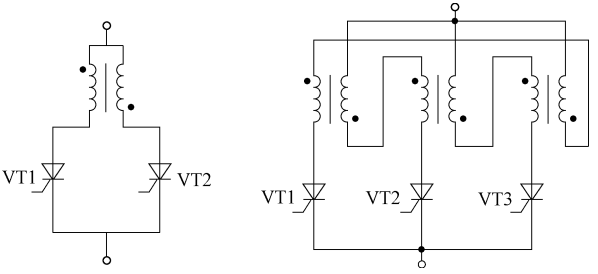


图 4-26　采用均流电路

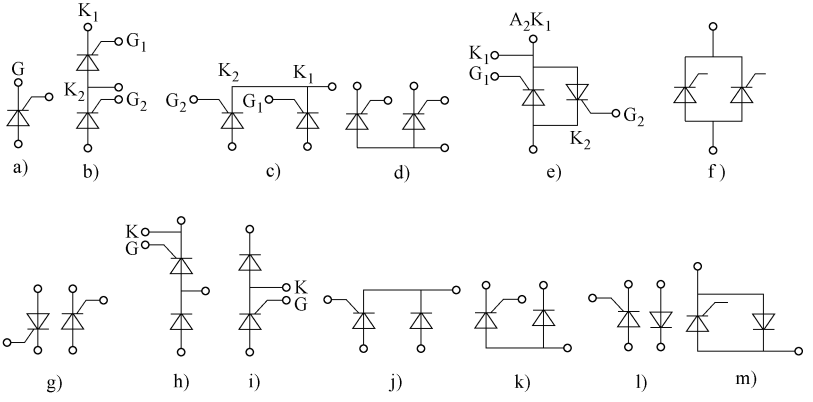
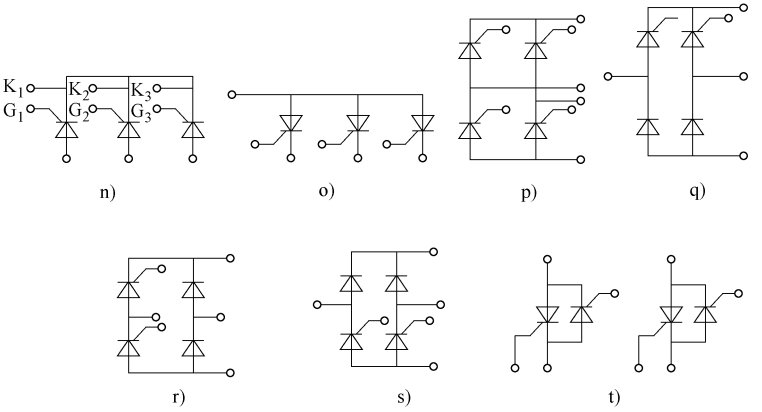


图 4-27　晶闸管模块常见内部结构



内部结构(1)

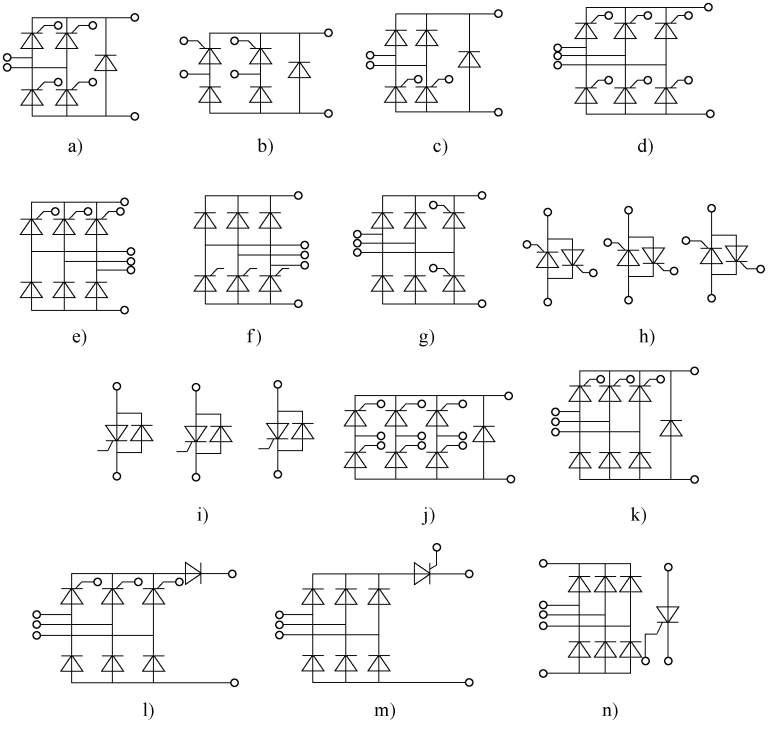
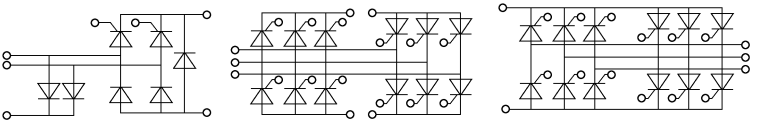


图 4-27　晶闸管模块常见内部结构（续）



o)　　p)　　q)

内部结构(2)

图 4-27　晶闸管模块常见内部结构（续）

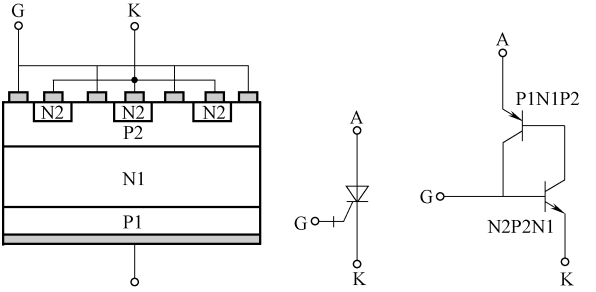
方便。开关速度高于普通晶闸管，电流/电压可达6 000A/6 000V，用于大功率逆变及斩波等。

（1）结构　与普通晶闸管基本相同，等效为 2 个晶体管复合而成，但阴-门极结构更复杂，可看作几十或几百个共阳极的小 GTO 并联体，所有阴极单元都被门极接触区包围。单个阴极横向宽度很小，每个阴极单元与门极距离很小，P2 区电阻小，利于从门极抽取大电流关断器件。其基本单元结构、图形符号和等效电路见图 4-28。

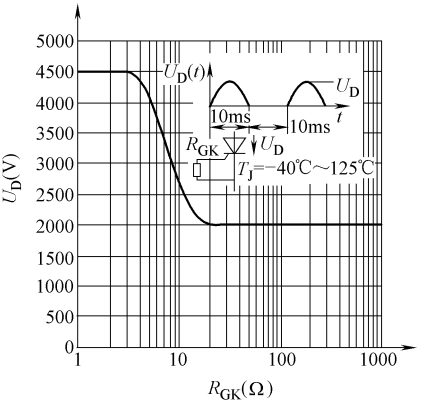
（2）伏安特性　实用 GTO 基本非对称结构，与快恢复二极管反并联使用，反向阻断能力仅几十伏，伏安特性正反向阻断能力不对称。GTO 没有阴极短路点结构，门阴极电阻 R_{GK}对正向阻断电压影响大，实际产生阴极短路效果。R_{GK}增大，短路效果下降，器件正向阻断电压下降。器件正向阻断电压与门极电阻阻值关系曲线实例见图 4-28。

（3）开关特性　图 4-29 是 GTO 通断电流与电压波形。对 GTO 加正电压并对门极加正电流后，GTO 导通，开通时间 t_{on}含延迟时间 t_d、上升时间 t_r，此过程中 GTO 阳极电压下降到阻断状态的 10%，等效电路中两个晶体管进入准饱和，器件导通；扩展阶段是导通区域由门极周围向整个阴极区扩展的过程，用扩展时间 t_s描述。GTO 门极触发电流上升率及幅值对开通时间影响大，这两者大可加速 GTO 开通。图 4-30 是延迟时间与门极正向触发电流关系曲线，门极最小触发电流随工作结温上升而下降，门极最小触发电流与工作结温的关系见图 4-31。即实际应用时要考虑环境温度。

当门极注入反向电流 I_{RG}时，GTO 开始向断态转换，关断时间 t_{off}含存储时间 t_s、下降时间 t_f。t_s是两个等效晶体管退出饱和状态的时间，t_f是阳极电流逐渐减小的时间。经 t_{off}后 GTO 仍有一个尾部电流 I_{tail}存在，以指数衰减，经 t_{tail}逐渐降到维持电流以下，器件关断。图 4-32 给出 GTO 储存时间与反向关断电流上升率间的关系，关断电流上升快，关断时间减短，提高开关频



基本结构　　图形符号　　等效电路



正向阻断电压与门阴极电阻关系曲线

图 4-28　GTO 基本单元结构及正向阻断电压与门阴极电阻关系曲线

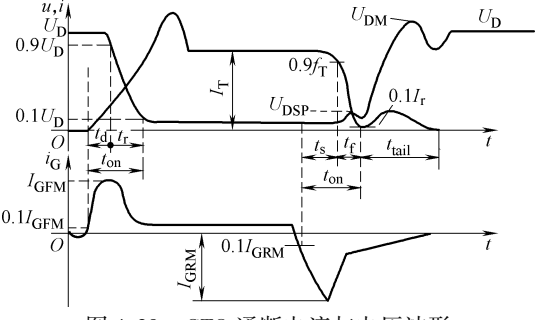


图 4-29　GTO 通断电流与电压波形

率。t_{off}及 t_s还与关断电流有关，见图 4-33。

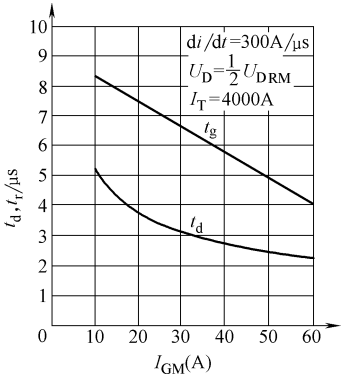


图 4-30　延迟时间与门极正向触发电流关系曲线

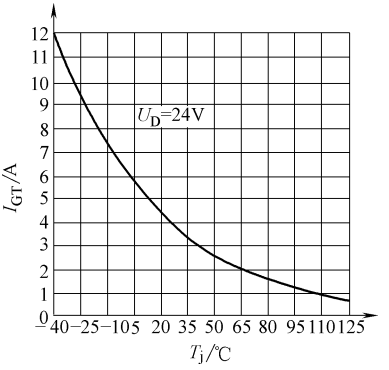


图 4-31　门极最小触发电流与工作结温的关系

（4）功率损耗　分为通态和开关损耗两种，前者与器件通态平均电流及导通角有关，后者在总损耗中占比较大，发生在上升时间内，用强触发信号开通 GTO 可降低开通损耗。关断损耗发生在下降和拖尾时间内。拖尾期阳极电压已升高、时间较长，功耗较大。高关断损耗是 GTO 失效原因之一，需要选择合适吸收电路。

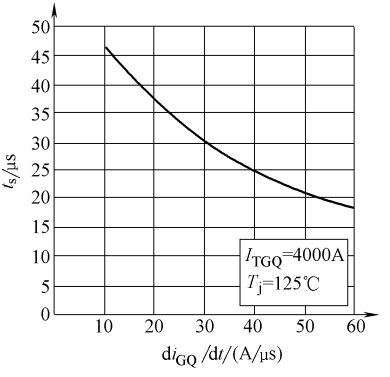


图 4-32　储存时间与反向关断电流上升率关系曲线

（5）GTO 吸收电路　保证 GTO 关断，必须将 GTO 关断中的电流—电压轨迹限制在安全工作区内。吸收电路见图 4-34，减小杂散电感、增加 C_S，加强吸收效果，提高关断能力，但 C_S增大吸收电路功率大，需要综合考虑。吸收二极管需开通时间短，反向恢复电荷小，要求开通时间远小于 t_f，一般在 0.1 ~ 0.5μs。吸收电阻应选无感电阻为 10 ~ 20Ω。

（6）额定值

① I_{ATO}：最大可关断阳极电流，如阳极电流超 I_{ATO}，GTO 不能可靠关

断；I_{ATO}与温度有关。

② 重复断态峰值电压及重复反向峰值电压 U_{DRM}、U_{RRM}：此为器件实际工作时承受正、反向峰值电压最大值的 2 ~ 3 倍。

③ 通态电流 I_T：通态下阳极电流的稳定值。

④ 通态平均电流 $I_{T(AV)}$：一个周期内的平均值。

⑤ 通态浪涌电流 I_{TSM}：导通后允许超过最高额定结温，但在器件寿命内很少或发生有限次数，因为不正常的电路条件如故障而引起的器件能承受的通态电流最大值。

⑥ 维持电流 I_H：在规定的门极和负荷条件下，从较大通态电流下降到保持 GTO 导通所需要的最小通态电流值。

⑦ 擎住电流 I_L：从断态转通态并切除门极电流后，要保持通态所需的最小阳极电流，此值随工作条件变化。

⑧ 断态电流 I_D：断态时的阳极电流，即断态时流过的阳极漏电流。

⑨ 反向重复最大电流 I_{RRM}：在反向重复最大电压下流过的阳极电流，即 GTO 承受反向电压时所流过的阳极漏电流，小于允许值，单位为 mA。

另外，门极还有正向电流、正向最大电流、最小触发电流、反向关断电流、触发电压、不触发电压、正向最大电压、反向最大电压等参数。某型号 GTO 额定值参数见表 4-10。

表 4-10　某型号 GTO 额定值参数

参数	符号	条件	额定值
反向重复峰值电压/V	U_{RRM}	—	17
断态重复峰值电压/V	U_{DRM}	$U_{GR} \geqslant 2V$	4 500
最大重复可关断电流/A	I_{TGQM}	$U_{DM} = U_{DRM}$ $di_G/dt = 40A/\mu s$ $C_s = 0.7\mu F$ $L_s = 0.3\mu H$	4 000
通态平均电流/A	$I_{T(AV)}$	正弦半波，$T_C = 85℃$	1 180
通态浪涌电流/kA	I_{TSM}	$T_j = 125℃$，浪涌后 $U_D = U_R = 0$，$t_p = 10ms$，$T_j = 125℃$	25
		$T_J = 125℃$，浪涌后 $U_D = U_R = 0$，$t_p = 1ms$，$T_j = 125℃$	40

（续）

参数	符号	条件	额定值
I^2t/A^2s	I^2t	$T_J=125℃$，浪涌后 $U_D=U_R=0$，$t_p=10ms$，$T_j=125℃$	3.1×10^6
		$T_J=125℃$，浪涌后 $U_D=U_R=0$，$t_p=1ms$，$T_j=125℃$	0.8×10^6
通态电流临界上升率 A/μs	di/dt	$I_{GM}=50A$，$di_G/dt=$ $40A/\mu s$，$f=200Hz$	500
门极反向最大电压/V	U_{RGM}	—	17

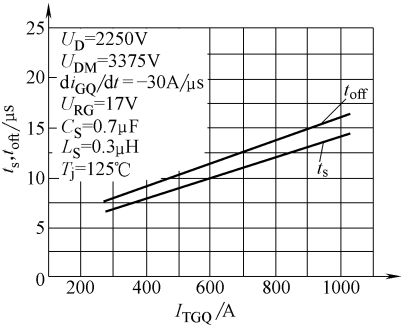


图 4-33　储存时间、关断时间与关断电流关系

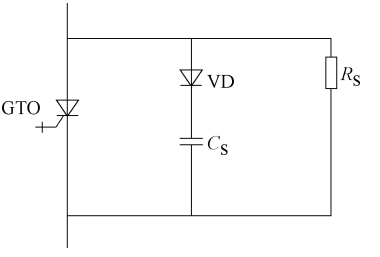


图 4-34　GTO 吸收电路

（7）特性值

① 关断增益 G_{off}：最大阳极可关断电流与门极负电流最大值之比，即 $G_{off}=I_{ATO}/I_{GRM}=\alpha_2/(\alpha_1+\alpha_2-1)$，关断增益约为 5，要关断较大阳极电流，所需负门极电流幅值也很大，功耗较大。

② 延迟时间 t_d：开通中从门极电流上升到峰值 10% 时刻始，到阳极电压下降到峰值 90% 时刻的时间。

③ 上升时间 t_r：开通过程中，阳极电压从峰值 90% 下降到 10% 的时间。

④ 开通时间 t_{on}：门极注入正向电流后，GTO 由断态转入通态的时间，$t_{on}=t_d+t_r$。

⑤ 存储时间 t_s：关断过程中，从反向门极电流上升到峰值 10% 时始，

到阳极电流下降到峰值90%时刻的时间。

⑥ 下降时间 t_f：关断过程中，阳极电流从峰值90%下降到10%的时间。

⑦ 关断时间 t_{off}：门极注入负门极电流，GTO从通态转入断态所需时间，即 $t_{off}=t_s+t_f$。

某型号GTO特性值参数见表4-11。

表4-11 某型号GTO特性值参数

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
断态重复峰值电流/mA	I_{DRM}	$U_D=U_{DRM}$ $U_{GR}\geqslant 2V$	—	—	100
反向重复峰值电流/mA	I_{RRM}	$U_R=U_{RRM}$ $R_{GB}=\infty$	—	—	50
通态峰值电压/V	U_{TM}	$T_J=125℃$ $I_{TM}=4\ 000A$	—	—	3.8
门极触发电压/V	U_{GT}	$U_D=24V$ $R_A=0.1\Omega$ $T_J=25℃$	—	—	1.2
门极触发电流/A	I_{GT}		—	—	4.0
延迟时间/μs	t_d	$U_D=0.5U_{DRM}$ $T_J=125℃$ $I_T=4\ 000A$ $di_Q/dt=300A/\mu s$ $C_s=6\mu F$ $R_s=5\Omega$	—	—	2.5
上升时间/μs	t_r		—	—	5
储存时间/μs	t_s	$U_D=0.5U_{DRM}$ $T_J=125℃$ $I_{TGO}=I_{TGQM}$ $di_Q/dt=40A/\mu s$ $C_s=6\mu F$ $R_s=5\Omega$ $L_s=0.3\mu H$	—	—	25
下降时间/μs	t_f		—	—	3
结壳热阻/(℃/kW)	R_{jc}	双面冷却	—	—	11

（8）动态参数

① 阳极电压上升率 du/dt：GTO保持断态不转向通态的最大电压上升率，即在规定条件下如额定结温、门极断路等，保持断态所允许施加的最大电压上升率应小于此值；阳极 du/dt 有静态和动态，静态 du/dt 是阻断时所能承受的最大电压上升率，静态 du/dt 过高可误导通；动态 du/dt 是在门极

关断中阳极电压的上升率，因门极正加有关断负脉冲，此时不会因 du/dt 过高而引起 GTO 误触发，但再加 du/dt 会使 I_{ATO} 下降，瞬时关断功耗大，GTO 会烧毁。

② 阳极电流上升率 di/dt：是开通中的动态参数，di/dt 过大，引起局部发热，损坏 GTO，一般串联缓冲电路限制 di/dt。

（9）具体应用

1）门极驱动。开通过程中要保证所有 GTO 单元同时开通，要求门极电流迅速上升、幅值较大，开通信号前沿陡、幅度大、有脉冲宽度。在导通期间需一直施加较小的正向门极触发电流，维持 GTO 可靠导通。一般门极触发电流 $di_G/dt = 10A/\mu s$，幅值是最小门极触发电流的 5 ~ 10 倍。关断负门极电流要求电流上升率高、电流幅值大、有脉冲宽度。电流上升率大可缩短关断时间、减小关断损耗，但也使关断增益减小，一般关断负门极电流 $-di_{GR}/dt = 10 \sim 50A/\mu s$，电流脉冲幅值由 I_{ATO} 和 G_{off} 决定，$I_{GRM} = I_{ATO}/G_{off}$。GTO 关断中拖尾长，要求负门极关断电流脉冲足够宽。为保证 GTO 安全应用，在 GTO 阻断状态时间内，应对门极加反向电压。

2）串联。需均压，分为静态和动态均压。前者因器件伏安特性引起，实际使用中可选择特性相近器件和并联均压电阻解决；后者因器件开通时间、关断时间的差别引起，选择器件参数接近，包括开通和关断时间、反向恢复电荷及吸收、续流、门极电路等参数。增大吸收电容可更好平衡因存储时间分散造成的动态关断过电压。

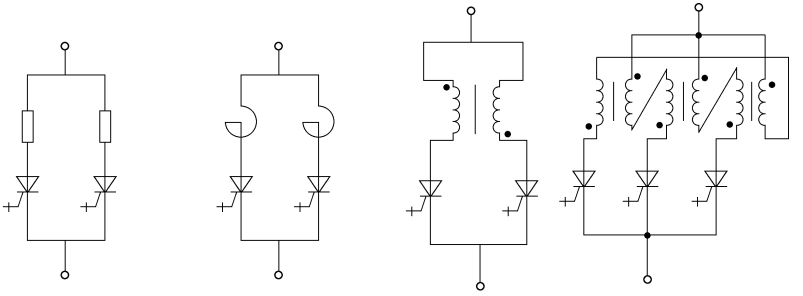
3）并联。存在均流问题，分为通态和动态均流，前者可选用通态伏安特性相近的元器件及串联均流电阻等改善；后者最有效的方法是加大触发电流的幅值和上升率，使器件同时开通及关断，还可串联空心电抗器、串联铁心电抗器均流，见图 4-35。另外，采用串联铁心电抗器均流效果更好。

4）逆变时与续流二极管并联。续流二极管要选择反向恢复时间短、反向恢复电荷小、开通速度快、软恢复的二极管，其反向阻断电压及正向电流额定值与 GTO 匹配。R、C 满足要求外，应选择无感电阻如绕线电阻或涂膜工艺电阻。

5）电流使用范围。GTO 电流按最大可关断阳极电流 I_{ATO} 标称，与通常用通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 标称电流不同，对 GTO，I_{ATO} 只有 $I_{T(AV)}$ 的 1/3 左右。

2. 电力晶体管

电力晶体管是集电极最大功率 $P_{CM} > 1W$ 的晶体管。高耐压大功率双极型晶体管，简称 GTR 或 BJT。具有放大特性，可作为开关器件。通过基极信



a) 串联电阻均流　b) 串联空心电抗器均流　c) 串联铁心电抗器均流

图 4-35　GTO 并联工作均流回路

号实现控制器件通断，用于逆变、斩波等。属于电流控制型器件，开关频率不很高，性能受驱动电路影响很大。逐步被 IGBT 等取代。

（1）结构　由三层半导体形成 2 个 PN 结构成，NPN 型结构多、PNP 型结构少，见图 4-36。一般为共发射极接法，图 4-37 为此接法 GTR 的工作状态。GTR 用基极电流 I_B控制集电极电流 I_C，实现开通、关断及放大。定义 $\beta = I_C/I_B$，β 为电流放大倍数，单管电流放大倍数约为 10。为了增大 β 值，可由 2 个以上复合构成达林顿组合，见图 4-38，V1 为驱动管，V2 为输出管。图 4-38（a、b）的电流增益分别为 $\beta = \beta_1(\beta_2 + 1) + \beta_2$ 和 $\beta = \beta_1(\beta_2 + 1)$，$\beta_1$ 及 β_2 为 V1、V2 的电流增益。常用的 GTR 外形有铁壳封装、模块封装、塑料封装和集成电路封装。

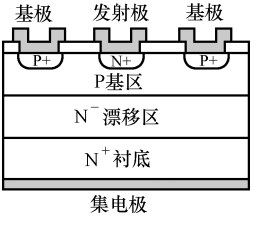


图 4-36　GTR 结构

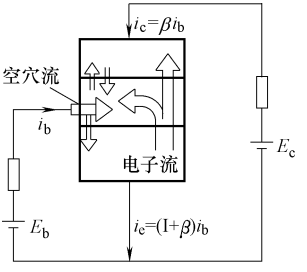
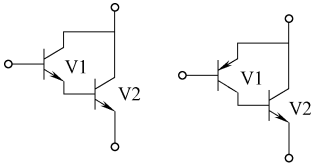


图 4-37　GTR 的工作状态

（2）基本特性

1）输出特性。共发射极输出特性见图 4-39，分为饱和区、放大区和截止区。饱和区晶体管两个结正偏，导电能力较强，即导通状态；截止区中两个结反偏，在集电极电流随集电极和发射极两端可承受较高电压，漏电流较

小，相当于断态；放大区发射结正偏而集电结反偏，工作在线性放大状态。击穿区出现在集电极-发射极电压超器件额定击穿电压后，集电极电流随集电极电压上升急剧增大，不是正常工作区域。



a) 驱动管　　b) 输出管

图 4-38　两级达林顿示意

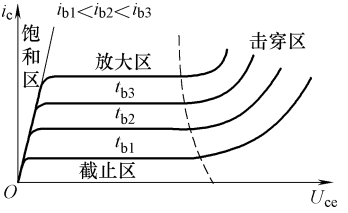


图 4-39　GTR 共发射极输出特性

2）开关特性。作开关元件，基极信号控制 GTR 通断。图 4-40 是 GTR 通断电流波形，开通时间 t_{on}小于关断时间 t_{off}。为加快器件关断，可增加反向基极电流，导通时，避免器件进入深度饱和，减少存储电荷缩短存储时间。du/dt 和 di/di 会影响 GTR 开关过程，du/dt 和 di/di 太大，将增加 GTR 瞬时电流和电压，可能导致运行超安全工作区，GTR 损坏。

3）二次击穿的安全工作区。GTR 可能会二次击穿。一次击穿是集电极电压升高到击穿电压后的雪崩击穿，此时如限制电流增长，一般不会损坏，否则会发生集电极电流急剧增大、集电极电压急剧下降的二次击穿。二次击穿持续时间很短，造成永久性破坏。二次击穿在各种状态都可能发生，一般有基极正偏、基极反偏、基极开路，见图 4-41，P_{SB}为二次击穿功率，安全工作区是 I_C与 U_{CE}同时达到但并不对器件造成损坏，此为安全工作区，由最大集电极电流、最大允许功耗、二次击穿功耗及 B_{UCEO}限制。基极正偏时安全工作区为正向安全工作区，基极反偏时称反向安全工作区，见图 4-42、图 4-43。正向安全工作区用于开通，在脉冲工作状态下，安全工作区随脉宽加大而减小，直流工作状态是器件最严酷的工作条件，其对应安全工作区也最窄；反向安全工作区用于关断，基极反向电流越大，安全工作区越窄。

（3）额定值

① U_{CBO}：发射极开路时，集-基极间的反向击穿电压。

② U_{CEO}：基极开路时，集-射极间的反向击穿电压。

③ U_{EBO}：集电极开路时，射-基极间的反向击穿电压。

④ $U_{CEO(SUS)}$：基极开路时，集-射极的维持电压，维持电压是指晶体管电感负载时，规定电流值内不发生异常现象所能承受的最大电压，低于相应

的反向击穿电压。

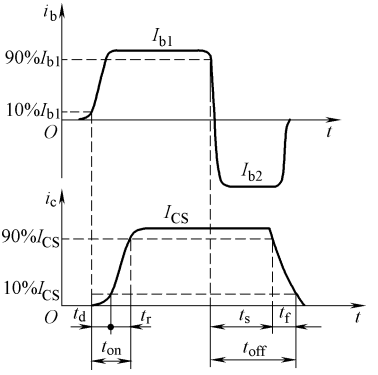


图 4-40　GTR 导通与关断电流波形

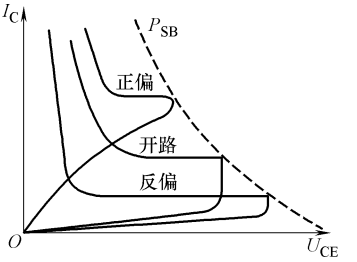


图 4-41　三种状态下的二次击穿曲线

⑤ $U_{CEX(SUS)}$：关断晶体管时，基极有反向偏压时的维持电压。

⑥ 集电极最大工作电流 I_{CM}：集电极电流增大时，器件电流放大倍数、频率特性、开关特性等性能下降，规定了最大集电极工作电流。实际集电极工作电流远小于 I_{CM}，输出电流是 50% I_{CM}。

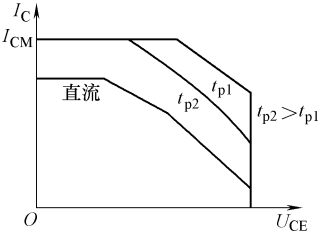


图 4-42　GTR 正向安全工作区

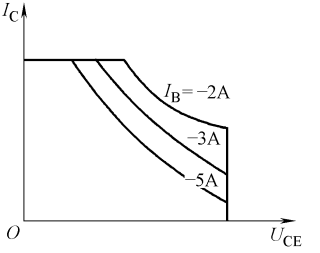


图 4-43　GTR 反向安全工作区

⑦ 集电极最大耗散功率 P_{CM}：指在规定壳温下器件所能承受的最大耗散功率。

（4）特性值

① 电流放大系数 β：$\beta = I_C/I_B$，一般认为 $\beta = h_{FE}$，β 与 I_C 关系见图4-44。当 I_C 达到某一值时 β 最大。β 在集电极电流较小时随温度上升而增大，当集电极电流较大时则相反。

② 集电极截止电流 I_{CBO}：GTR 承受 U_{CBO} 时集电极反向漏电流。

③ 发射极截止电流 I_{EBO}：基-射极反偏时发射极反向漏电流。

④ $U_{CE(SAT)}$：器件导通时，集-发射极间饱和电压与基极电流有关，晶体管导通，I_B越大，晶体管饱和深度越大，饱和压降越小，但这样会使器件关断时间加长，关断损耗加大。实际中，要选取合适的I_B控制晶体管的饱和深度，使之处于临界饱和状态。

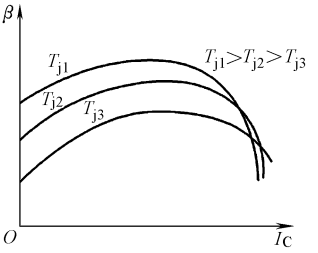


图 4-44　电流增益与集电极电流关系

⑤ $U_{BE(SAT)}$：器件导通时，基极-发射极间饱和电压。

⑥ 跨导 g_m：$g_m = I_C/U_{BE}$，对晶体管并联均流影响大。

表 4-12、表 4-13 为某型号电力晶体管的额定值和特性值。

表 4-12　某型号电力晶体管的额定值

参数	符号	条件	额定值
集电极-基极电压/V	BU_{CBO}	发射极开路	1 000
集电极-发射极维持电压/V	$BU_{CEX(SUS)}$	$U_{EB}=2V$	
发射极-基极电压/V	BU_{EBO}	集电极开路	7
集电极电流/A	I_C	直流	6 000
反向集电极电流/A	$-I_C$		
基极电流/A	I_B		20
结温/℃	T_j	—	150
集电极耗散功率/W	P_C	$T_C=25℃$	3 500

表 4-13　某型号电力晶体管的特性值

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
集电极截止电流/mA	I_{CEX}	$U_{ce}=U_{cex}$ $U_{EB}=2V$	—	—	8
发射极截止电流/mA	I_{EBO}	$U_{EB}=7V$	—	—	800
集电极-发射极饱和电压/V	$U_{CE(sat)}$	$I_C=600A$ $I_B=12A$	—	—	2.5
基极-发射极饱和电压/V	$U_{BE(sat)}$	$I_C=600A$ $I_B=12A$	—	—	3.5
直流电流增益	h_{FE}	$I_C=600A$ $U_{CE}=2.8V/5V$	75/100	—	—

（续）

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
开通时间/μs	t_{on}	$U_{CC}=600V$ $I_C=600A$ $I_{B1}=I_{B2}=12A$	—	—	3.0
存储时间/μs	t_s		—	—	16
下降时间/μs	t_f		—	—	3.0
结壳热阻/(℃/W)	R_{jc}	—	—	—	0.035

（5）应用

1）保护电路。GTR 有二次击穿，过电流、短路保护用快熔无效果。器件工作点应在安全工作区内，配吸收电路，吸收高电压、抑制集电极电压上升率过高。常见吸收电路见图 4-45。

① 过电流、短路保护。过电流保护分为就地与集中式两种，前者在变流装置中监视 GTR 状态，过电流时即封锁驱动信号；后者检测到过电流时，切断主电路或封锁所有晶体管的脉冲。

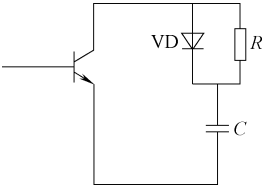


图 4-45　GTR 常见吸收电路

② 接地保护。晶体管类设备常发生对地短路，一般常用的保护电路见图 4-46。

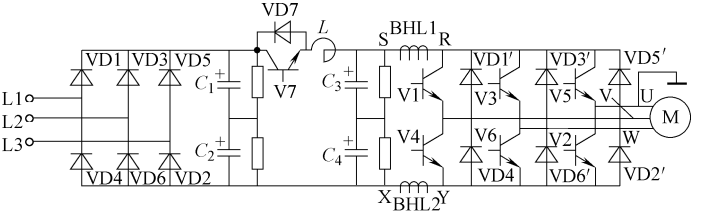
③ 过电压与欠电压保护。如电网电压 380V ± 38V，线电压可达 440V，导致晶体管变流设备中直流母线电压达 460 ~ 570V，再考虑 GTR 通断中 Ldi/dt 在直线母线上叠加，可造成 GTR 过电压击穿或欠电压使基极驱动电路电压低而退出饱和区，见图 4-47。

④ 过热保护。GTR 用强迫冷却，在散热器上装正温度系数热敏电阻，当温度急剧上升时，封锁脉冲切断电路，见图 4-48。

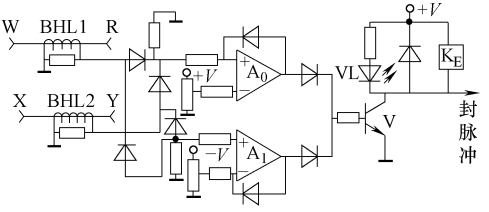
⑤ 断电保护。变流系统中，因电网断相、熔断器断相或误操作造成变流控制电路早于主电路断电，产生同桥臂 2 个晶体管基极的脉冲因掉电晶体管同时导通，短路电流很大；一般在系统中构成小功率不间断电源，保证控制电路晚于主电路断电，见图 4-49。

⑥ 欠饱和与过饱现保护。因工作于欠饱和状态引起 GTR 二次击穿，而过饱和又使 GTR 存储时间增加，影响 GTR 开关频率，欠饱和与过饱和保护可根据基极-射极（或集电极-射极）驱动电流，构成准饱和基极驱动器实

现，如专用基极驱动电路 UAA 4 002，见图 4-50。



接地故障分析



接地保护原理

图 4-46　接地保护

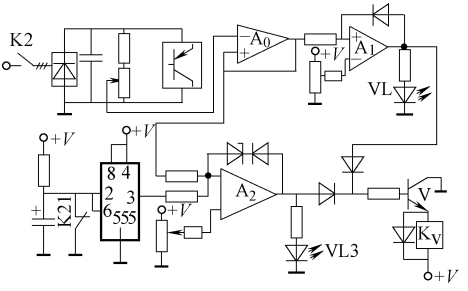


图 4-47　过电压与欠电压保护

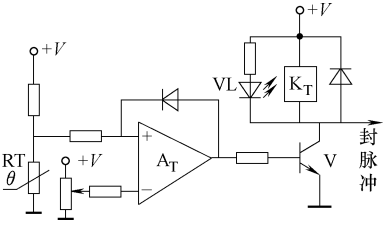
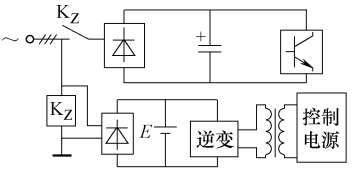
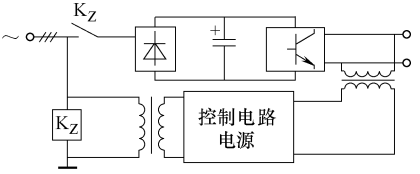


图 4-48　过热保护



a) 系统内小功率UPS



b) 用变流器输出作系统控制电源

图 4-49　断电保护

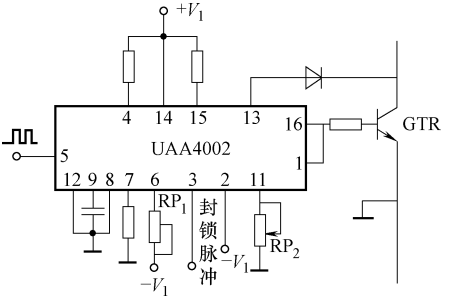


图 4-50　准饱和基极驱动集成电路

⑦ 基极驱动电路电源电压监控保护。GTR 工作于饱和状态及可靠关断，必须是理想的基极驱动电路，UAA 4 002可满足条件。

2）驱动条件。基极电流对器件影响关系见表 4-14，I_{b1} 为导通时正向基极电流，I_{b2} 为关断时反向抽取基极电流。驱动电路在器件开通时，I_{b1} 能自动调节负载电流，保证器件工作在准饱和状态；关断时 I_{b2} 幅值及陡度足够大，缩短关断时间，在截止期间维持基极反偏。发生过载或短路时能迅速切断正向基极电流。

表 4-14　基极电流对器件影响关系

基极电流	集电极-发射极饱和电压	开通损耗	关断损耗	反向安全工作区
I_{b1} 增大	降低	减少	增大	—
I_{b2} 增大	—	—	减小	变窄

① 基极驱动电路决定 di_c/dt 增大，GTR 饱和电压降下降，减小了开通损耗。

② GTR 关断时，基极驱动电路对关断损耗有影响，过量基极驱动，对 GTR 开关和减小关断损耗不利。

③GTR 导通时，维持饱和导通，电流上升率充分大，可减小开通时间；关断时反向注入电流峰值及下降率充分大，减小下降时间。

④ 驱动电路应抗干扰能力强。

⑤ 为防止关断时施加大幅度负电流后产生基极电流的尾部效应导致 GTR 损坏，基极驱动电路应能在 GTR 退出饱和后，提供给 GTR 基极-发射极合适的反偏电压，使 GTR 快速关断，防止二次击穿。

实用的基极驱动电路很多，为电路简化、功能齐全，应采用集成器件。典型的 GTR 基极驱动电路见图 4-51。

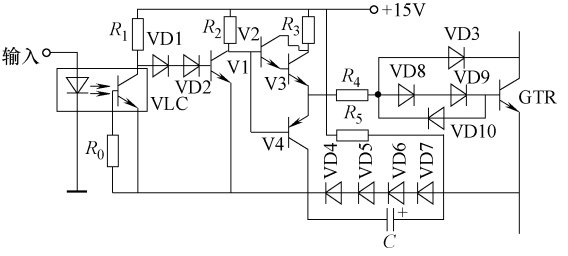


图 4-51　典型的 GTR 基极驱动电路

3）串联与并联。GTR 对过电压敏感，一般不串联运行。大电流 GTR 可用许多小电流 GTR 并联。并联后需要均流。因此，要选用直流电流增益、饱和压降、跨导等参数尽量一致的器件。另外，并联支路布线要对称、适配线短且均匀等。电路中利用二极管的钳位作用使并联器件处于准饱和状态，减少各管关断时间差别。

几点注意事项如下：

① GTR 特性表中的参数是环境温度 25℃时的数据，高于此温时，按照经验公式进行换算，则

$$P_{CM} = (T_1 - T_0)/R_T \tag{4-10}$$

式中　P_{CM}——GTR 集电极最大功率；

T_1——最高温度；

T_0——使用环境温度；

R_T——热阻（查产品手册）。

② 静态、动态还是不稳定，要防止电流及电压超极限值，不允许 2 个以上参数同时超极限值。

③ GTR 不能靠近热源，管件散热好，一般 GTR 耗散功率大于 5W，必须加散热板。

④ 不能改变加到 GTR 上的电压极性，即硅管、锗管不能相互替换，PNP 型晶体管发射极对其他两极是正电位，NPN 型晶体管发射极是负电位。

⑤ 焊接时，所用焊锡熔点小于 150℃，烙铁小于 60W、焊接时间小于 5s；不许在引出线外壳 5mm 内焊接或折弯；甚高频或脉冲电路中的晶体管，引出线要尽量短。

⑥ 为防止 GTR 发生二次击穿，不采用电抗成分大的负载，合理选择工作点及状态，不要超过安全工作区，选择适当的保护电路。

⑦ GTR 接入电路时，先接通基极，在发射极与集电极间有偏压时，不能断开基极电路。

⑧ GTR 替换原则：类型相同，即主材料如硅或锗、极性如 PNP 型或 NPN 型必须相同；特性相近，主要是集电极最大允许直流电流、集电极最大直流耗散功率、击穿电压、直流饱和电压及频率特性等。

常用的 GTR 内部结构见图 4-52。

3. 功率 MOSFET

早期为平面结构，源极 S、栅极 G 和漏极 D 置于硅芯片表面，硅芯片面积利用率低，PMOS 仅限于小信号电路。当 VMOS 结构移植到 MOSFET 中，功率 MOSFET 进入电力电子器件范畴。

（1）结构　VVMOS 结构见图 4-53。VDMOS 结构见图 4-54。VVMOS 和 VDMOS 相比，主要功率特性不同，器件单元排列即平面结构影响器件性能，有重复单元四边形 TMOS、正六角形 HEXFET 结构等，提高器件单元集成度。VDMOS 通态电阻结构见图 4-55。VTrench MOS 结构见图 4-56。这种结构更适合制造高性能的低压功率 MOSFET。

（2）工作特性

1）通态电阻 $R_{DS(on)}$。当 MOSFET 导通时，器件沟道为恒定电阻 $R_{DS(on)}$，不随工作电流变化，$R_{DS(on)}$ 在开关电路中决定输出幅度和导通损耗，是工作结温 T_j 的函数。结构不同，$R_{DS(on)}$ 不同，低压时为几十兆欧，高压时仅几欧。图 4-57 是某型号 500V/75A 功率 MOSFET 的 $R_{DS(on)}$ 与 T_j 曲线。$R_{DS(on)}$ 是正电阻温度系数，热稳定性好，避免二次击穿，安全工作区大，易并联运行。

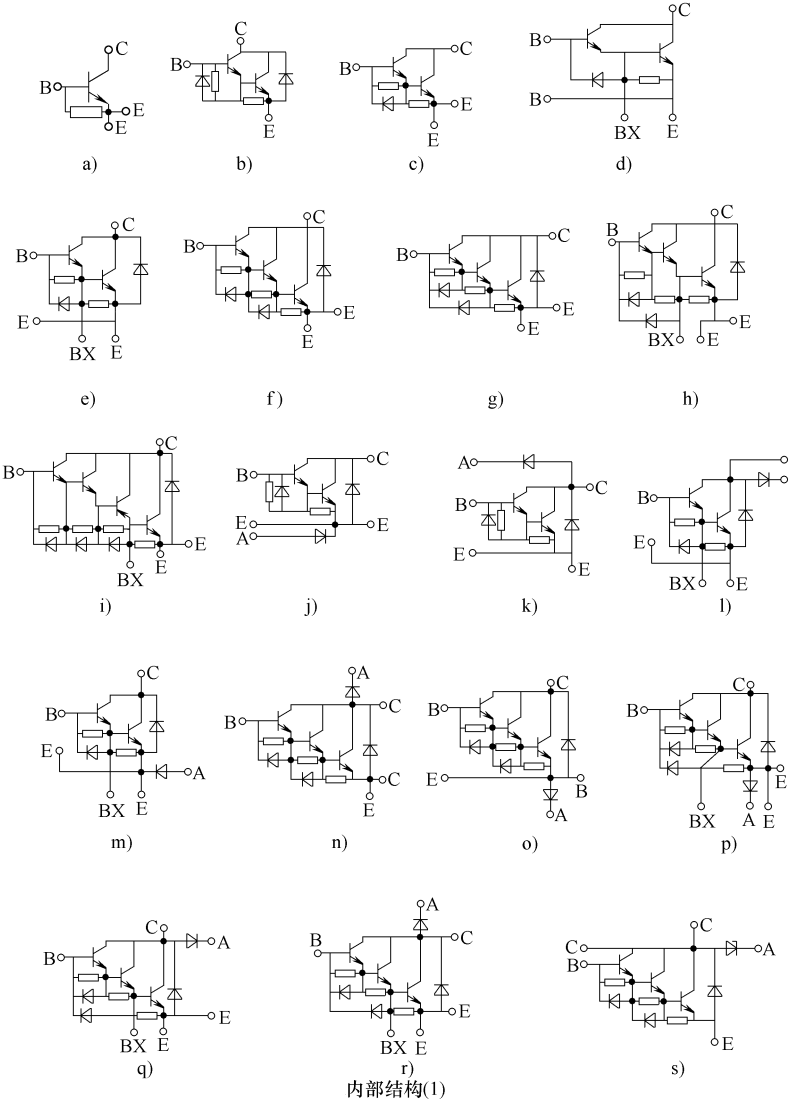
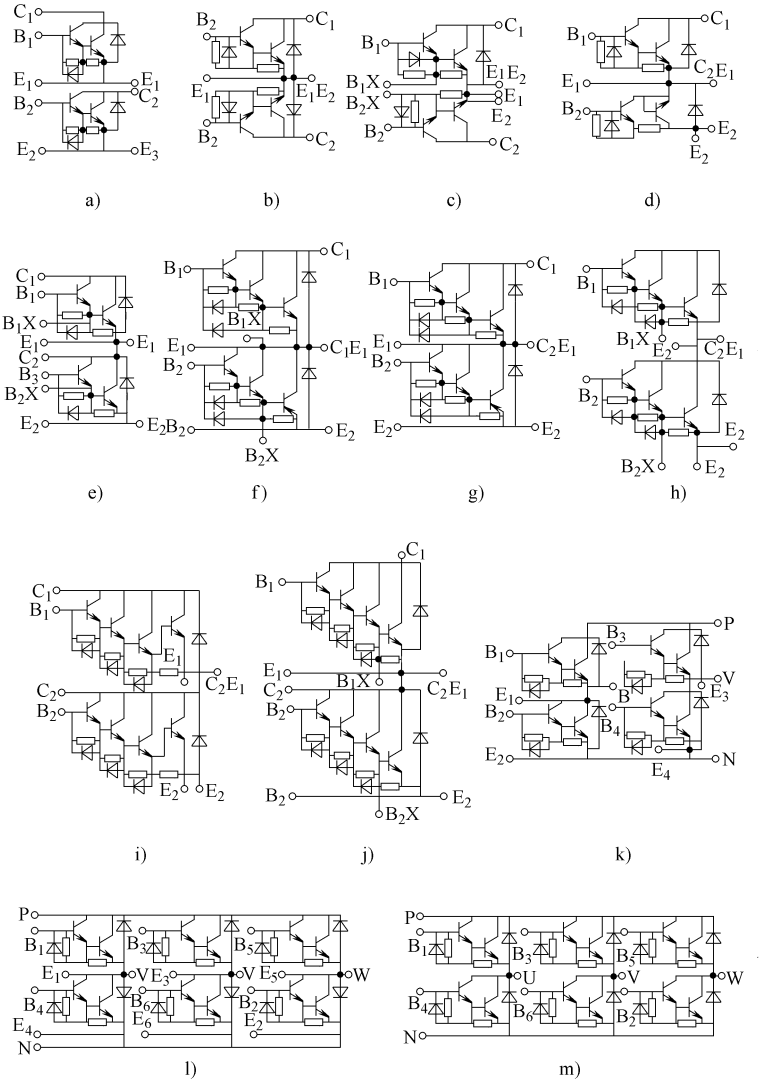


图 4-52　常用的 GTR 内部模块结构



内部结构(2)

图 4-52　常用的 GTR 内部模块结构（续）

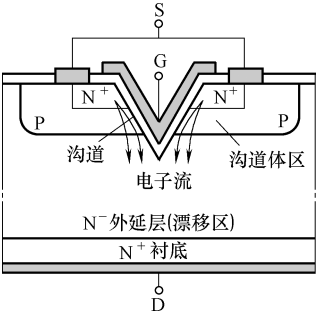


图 4-53　VVMOS 结构

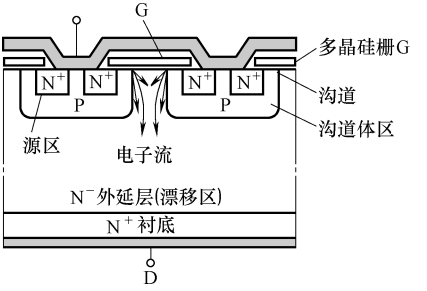


图 4-54　VDMOS 结构

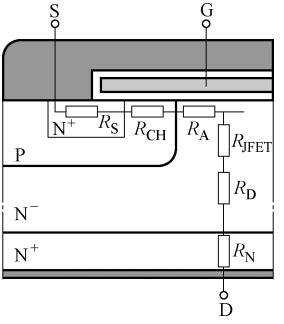


图 4-55　VDMOS 通态电阻结构

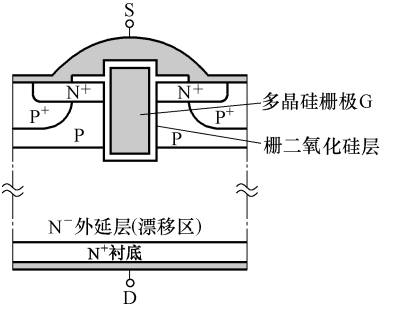


图 4-56　VTrench MOS 结构

2）极间电容。即栅源极电容 C_{gs}，它影响功率 MOSFET 的开关性能，见图 4-58。漏极和源极间有 2 个 PN 结，使功率 MOSFET 电容增大。短路处理后体内二极管反向恢复慢。感性负载逆变电路中集成于功率 MOSFET 中，

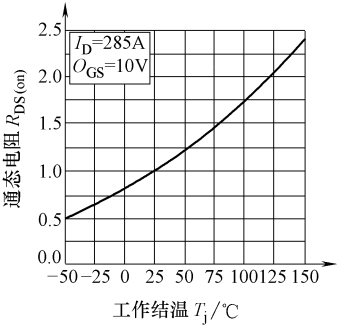


图 4-57　$R_{DS(on)}$ 与 T_j 关系

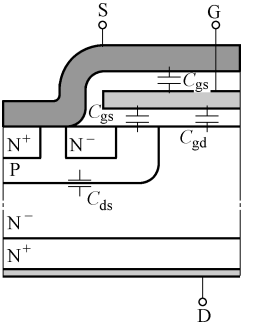


图 4-58　VDMOS 极电容

必须在外电路接快速续流二极管，否则会二次击穿。寄生电容 C_{gs}、C_{gd}与结构有关，极间电容等效电路见图 4-59。寄生电容呈非线性，见图 4-60，随漏源极间电压 U_{ds}变化，U_{ds}越高，电容越小。

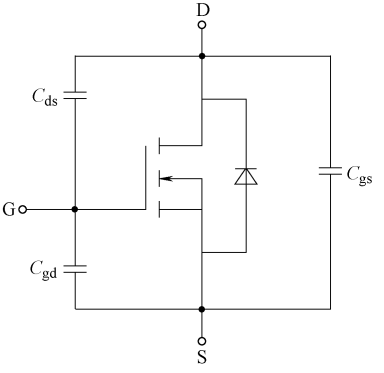


图 4-59　VDMOS 极间电容等效电路

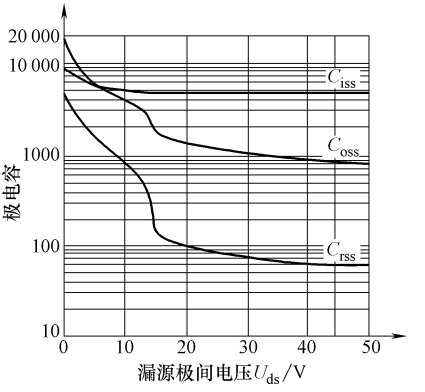
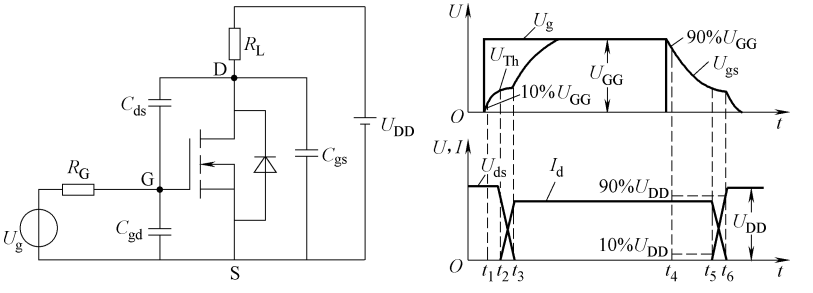


图 4-60　VDMOS 极电容与 U_{ds}的关系

（3）开关特性　开关动态特性决定于栅电极电位变化速率，用于高频开关电路。

1）纯电阻性负载时开关过程与时间。如图 4-61 所示，负载电阻 R_L，栅极电阻 R_G，包含栅极驱动电路内阻和外加栅极回路串联电阻。开通时间 t_{on}是栅源极电压 U_{gs}上升为 10% U_{GG}时刻开始到 U_{gs}下降为 10% U_{DD}的时间，分为开通延迟 $t_{d(on)}$和上升 t_r，$t_{d(on)}$是 U_{gs}上升为 10% U_{GG}到 U_{ds}下降为 90% U_{DD}的时间。t_r 是 U_{ds}由 90% U_{DD}下降到 10% U_{DD}的时间间隔。

2）感性负载时开关损耗。如图 4-62 所示为测试电路，通过开关过程中



a) 测试电路　　b) 开关过程波形

图 4-61　功率 MOSFET 纯电阻性负载开关特性电路及开关过程波形

流动功率 MOSFET 电流与相应漏源极电压乘积积分即相应的开通损耗 E_{on} 和关断损耗 E_{off}。

（4）功率 MOSFET 安全工作区

1）正偏安全工作区。如图 4-63 所示，由四条或三条边界线包围，不考虑二次击穿；受通态电阻的限制，通态压降比 GTR 高许多，图中为不同工作状态的正偏安全工作区。

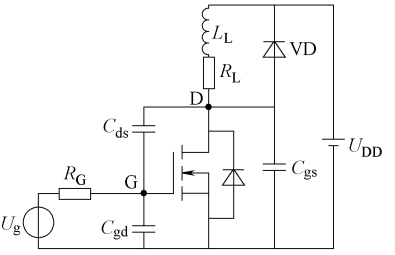


图 4-62　感性负载时开关损耗测试电路

2）反偏安全工作区。为加快功率 MOSFET 关断速度，关断时反向偏置，见图 4-64。由最大峰值漏极电流 I_{DM}、漏源极击穿电压 BU_{ds} 和最高工作结温 T_{JM} 决定。

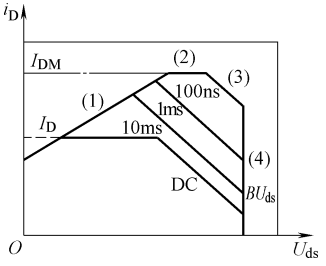


图 4-63　MOSFET 正偏安全工作区

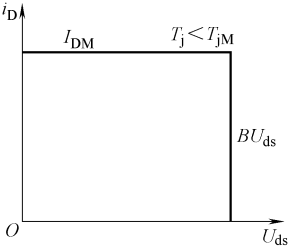


图 4-64　MOSFET 反偏安全工作区

（5）栅极驱动　控制信号与功率 MOSFET 栅极信号间，输入端相当于 1 个容性电路，器件处于通或断状态时不需要驱动电流，但开关过程中，栅极输入电容需要足够大的脉冲电流充放电，应合理选择驱动电压。为缩短 MOSFET 关断时间、提高断态可靠性，驱动电路在栅极加入反向偏置电压。图 4-65a 提供足够高的栅压，使器件充分导通且关断快，R 足够大，限制驱动电路输入低电平时的电流，开通速度慢；图 4-65b 增加驱动晶体管，减轻 TTL 信号源负担，晶体管放大作用开通速度快；图 4-65c 通、断速度快，适合高频或大功率 MOSFET 驱动。驱动回路中 R_G 影响 MOSFET 栅极输入电容充电速度及开关损耗。实际 R_G 不能太小。

（6）驱动电路要求

① 向 MOSFET 栅极提供触发脉冲足够的上升与下降速度。

② 减小驱动电路输出电阻，提高栅极充放电和开关速度，驱动电流足

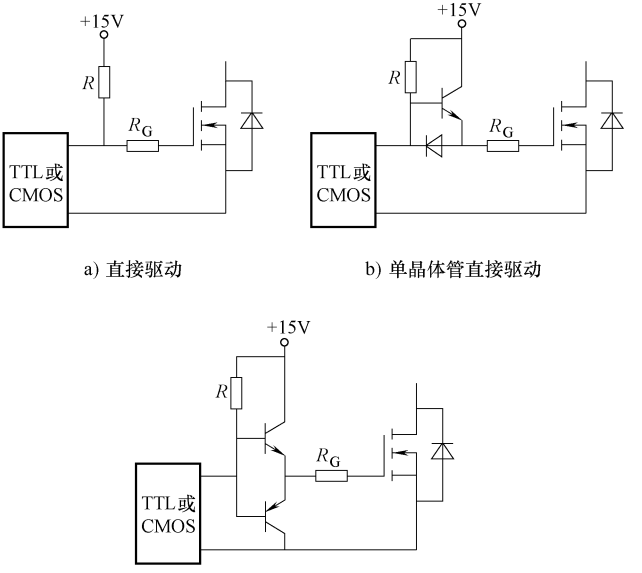


图 4-65　TTL 或 CMOS 直接驱动电路

够大。为防止误导通，MOSFET 截止时可提供负栅极电压。

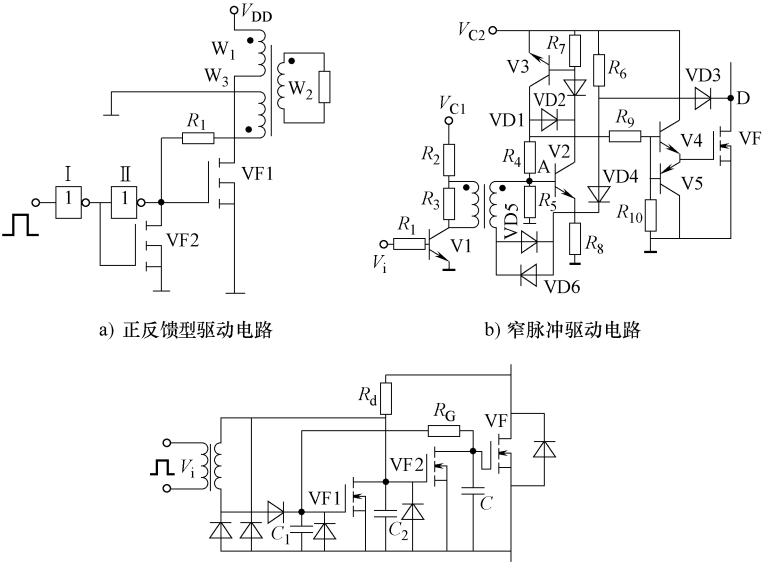
③ 满足 MOSFET 快速转换和高峰值电流，减小开关转换时间和损耗，但 di/dt 和 du/dt 不应造成误导通和损耗，di/dt 和 du/dt 要具体选择。

④ 电气隔离性能良好，抗干扰能力强。驱动电路传输时间尽可能小，可选光耦合器，如用变压器，尽量提高载波频率、减小变压器尺寸。桥臂功率管的驱动电路传输尽量同步。

⑤ 有保护功能，如低压锁存、MOSFET 过电流、过热和电压钳位保护等。

典型驱动电路有 TTL 直接驱动、CMOS 器件驱动、脉冲变压器驱动、光耦合驱动等，见图 4-66。

（7）串并联　功率 MOSFET 工作于高频开关电路，不主张串联。功率 MOSFET 有电流负温度系数，对电流自动调节，多器件直接并联。并联时必须考虑静态和动态均流。静态均流是指器件开通过程结束进入稳定导通时的状态，$R_{DS(on)}$ 分散性使并联分流不均。$R_{DS(on)}$ 在器件管芯温度升高时增大，可使单个功率 MOSFET 器件避免二次击穿，器件自动均流。并联工作 MOSFET 器件应选同



a) 正反馈型驱动电路　　b) 窄脉冲驱动电路

c) 窄脉冲MOS化驱动电路

图 4-66　典型驱动电路

型号、同批号，安装在同一散热器上。动态均流是指并联器件开关中的均流，因缺少足够电流使 $R_{DS(on)}$ 较小的器件温升不够，靠 $R_{DS(on)}$ 正温度系数静态均流在并联动态中不起作用，并联时导致动态开关中电流不均，是并联器件支路阻抗不均、开关特性分散。

开关过程中 di/dt 较大。并联器件阻抗含本身电阻、连接线的分布感抗。为提高并联器件动态均流特性，静态均流要求 $R_{DS(on)}$ 尽量一致且对称靠近安装。并联器件必须采用同一驱动电路，驱动信号线对称布置，在栅极电路各加去耦电阻。

并联具体要求如下：

① 导通后，漏极电流分配取决于 $R_{DS(on)}$，选择 $R_{DS(on)}$ 相差低于 20% 的器件，当通态电阻差别较大的功率 MOSFET 并联，可将各栅极分别用电阻分开，栅极电路电阻应小于串入的电阻，当 $I_D = 5 \sim 40A$ 时，可串联 $10 \sim 100\Omega$ 电阻。

② 器件通断瞬间，漏极电流适配取决于开关时间，器件开关参数一致，也可在栅极串联电阻，并联器件应对称安装。

③ 为防止信号发生干扰，栅极-源极信号线应绞合，必要时在某个器件栅极间接小电容。

④ 在源极接适当电感，限制 di/dt。

⑤ 线路尽量对称，连接线同样长、尽量短，截面积尽量大。

（8）常见功率 MOSFET 模块　它的内部结构见图 4-67。使用注意事项如下：

① 功率 MOSFET 测试与接入电路前，应存放在静电包装袋、导电材料

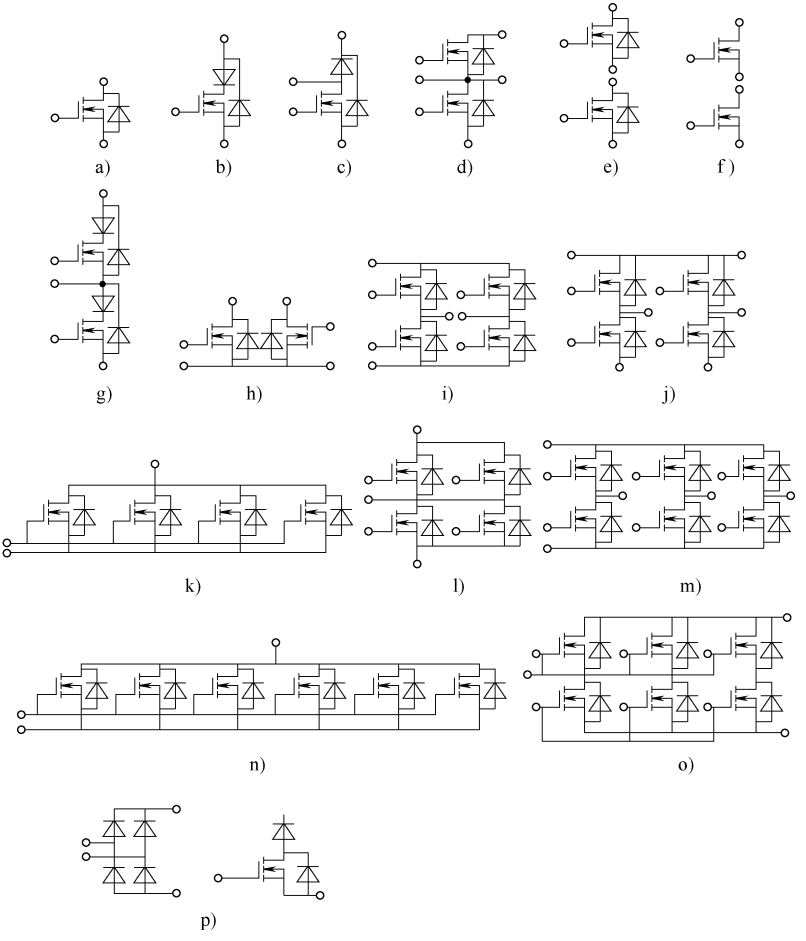


图 4-67　常见功率 MOSFET 模块的内部结构

或金属容器中。取用时应接触管壳而不接触引线，手腕良好接地，所穿服装不易产生静电。测试功率 MOSFET 时，测量仪器与工作台接地，减少相同一起的使用次数与时间，三个极接入电路前，不能施加电压，改变测试范围时，电压和电流必须恢复到零。

② 功率 MOSFET 接入电路时，工作台和电烙铁接地良好，电烙铁功率小于 25W、12～24V，或用内热式电烙铁，先焊接栅极与源极。

③ 栅极电压不要过限，有些型号产品内部接入端有齐纳保护二极管，栅极间反相电压小于 0.3V，内部没有齐纳保护二极管，应在栅极-源极外接保护电路。

④ 操作现场尽量回避带电的绝缘体和用导电性物质。

（9）保护

① 短路、过电流保护。与 GTR 相似，快速性要求更高，故障信号取样和布线要抗干扰，减小分布参数影响。

② 主电路母线过电压、欠电压及栅极驱动电路电压监控保护，与 GTR 相似。

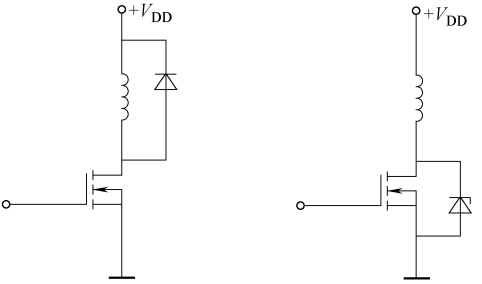
③ 功率 MOSFET 栅极间过电压保护。因栅极间阻抗很高，漏极-源极间电压突变，可造成功率 MOSFET 永久损坏，因此适当降低栅极驱动电路阻抗，在漏极-源极间并接阻尼电阻或并联 1 个背靠背稳压不大于 20V 的齐纳二极管。特别要防止栅极开路工作。

④ 漏极-源极间的过电压保护。如器件接有电感负载，关断时漏极的 di/dt 产生比外电源高的漏极电压脉冲，可击穿器件，一般在感性负载并联 1 个钳位二极管；如负载的串联电阻比感抗小，在功率 MOSFET 关断时，简单的二极管钳位在二极管与负载间有环流，产生振荡，振荡较大时，可用 1 个电阻与二极管串联。一种 *RC* 钳位电路，见图 4-68；避免瞬间大电压的方法是采用缓冲电路，见图 4-69，能有效降低峰值漏极电压，但不如 *RC* 钳位电路有效。

⑤ 过电流保护。多个负载接入或切除可产生较大冲击电流，必须用电流互感器和控制电路切除器件电路。

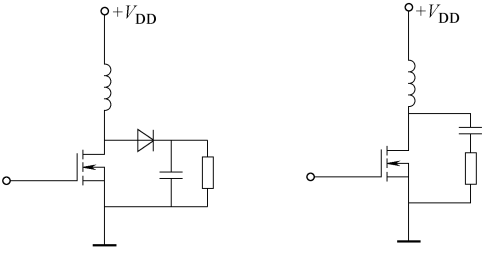
⑥ 消除寄生晶体管和二极管的影响。MOSFET 内部构成寄生晶体管和二极管，如短接寄生晶体管的基极和发射极，可造成二次击穿，因此在桥式开关电路中，功率 MOSFET 应外接快恢复的并联二极管，避免桥臂直流短路。

⑦ 散热。功率 MOSFET 器件必须安装散热片，保证结温小于 150℃。



a) 钳位二极管消除瞬间电压　　b) 齐纳二极管消除瞬间电压

图 4-68　过电压保护电路



a) *RC*钳位网络吸收瞬间电压　　b) *RC*缓冲器吸收瞬间电压

图 4-69　*RC* 缓冲电路

4. 绝缘栅双极晶体管（IGBT）

开关快、通断能力强、饱和压降低，驱动电路简单，自关断，应用广。

（1）结构和基本特性

1）结构与原理：结构与 MOS 器件相似，结构、图形符号及等效电路见图 4-70。从图 4-70a 看出，IGBT 可看成由 MOSFET 驱动的 PNP 型晶体管。当对栅极加相对发射极大于阈值电压的正电压时，栅极下方 P 型反型成为 N 型导电沟道，MOSFET 导通，电子电流进 N^+ 层，提供 PNP 型晶体管的基极电流，IGBT 导通；当撤除栅极电压或加反向栅极电压，IGBT 关断。

2）基本特性：

① 输出特性。以栅极-发射极电压 U_{GE} 为参变量、集电极-发射极电压与集电极电流关系，见图 4-71。$U_{CE}<0$ 时，J1 反偏，因 N^+ 层存在，使 IGBT 反向阻断电压很低，一般为几十伏，无 N^+ 层的 IGBT 称为对称型 IGBT，正

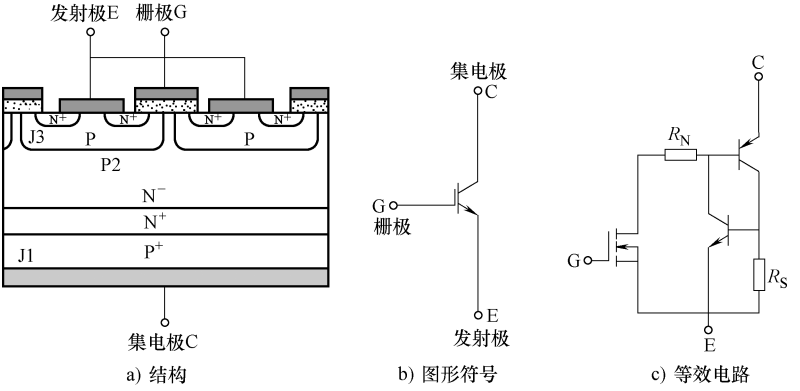


图 4-70　IGBT 的结构、图形符号及等效电路

反向阻断电压基本一致；当 $U_{CE}>0$，输出特性有正向阻断区、有源区和饱和区。当器件作开关器件时，工作状态在正向阻断区和饱和区间切换。

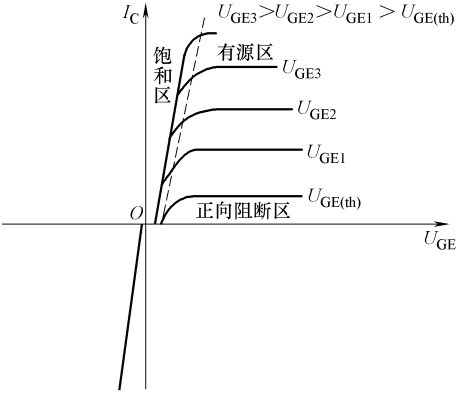


图 4-71　IGBT 输出特性

② 动态特性。图 4-72 是 IGBT 开关过程，从 U_{CE} 到幅值 10% 时刻→I_C 到幅值 10% 时刻止，为开通延迟时间 $t_{d(on)}$，I_C 从幅值 10%→90% 的时间为上升时间 t_r。关断时，从 U_{GE}后沿下降到 90% U_{GEM}时起，到 I_C 下降到 90% I_{CM}止，此时间间隔为关断延迟时间 $t_{d(off)}$。I_C 从 90% I_{CM}下降到 10% I_{CM}的时间为下降时间 t_f。$t_{d(off)}+t_f$ 即关断时间 t_{off}。IGBT 开关时间与集电极电流、结温、栅极电阻等有关，图 4-73、图 4-74 是开关时间与集电极电流、栅极电阻的关系，图 4-75、图 4-76 是单次脉冲开关能耗与集电极电流、栅极电阻的关系。可以看出，开关损耗随集电极电流和栅极电阻的增加而上升。IGBT 通断过程中的瞬时功耗为开通损耗，即 $P_{on}=fE_{on}$和 $P_{off}=fE_{off}$。式中，f 为开关频率；E_{on}及 E_{off}分别为通、断中单次脉冲的功耗。

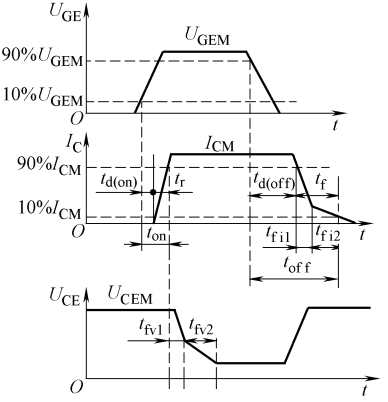


图 4-72　IGBT 开关电流波形

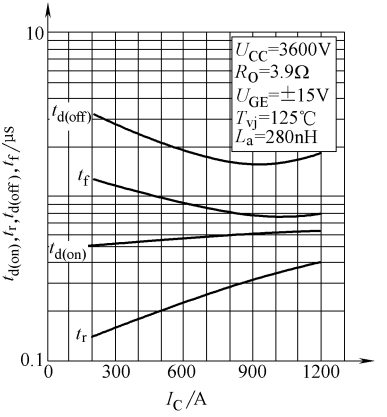


图 4-73　开关时间与集电极电流的关系

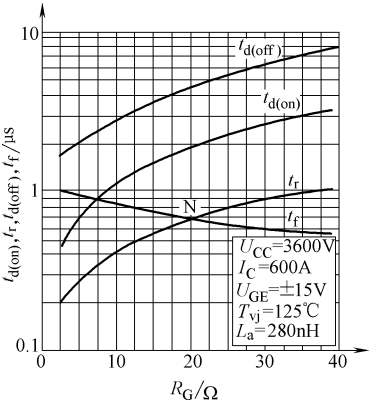


图 4-74　开关时间与栅极电阻的关系

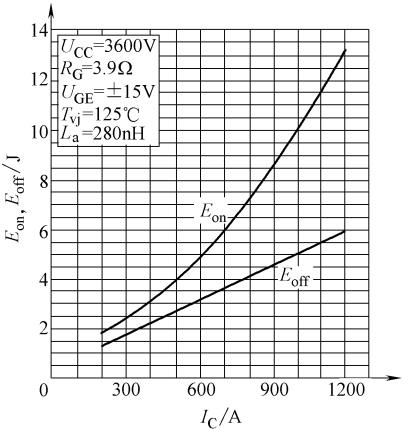


图 4-75　单次脉冲开关能耗与集电极电流的关系

③ 擎住效应。图 4-70c 看出 IGBT 内部有 1 个寄生晶闸管，晶闸管中 NPN 发射极与基极间有 1 电阻 R_s，当 I_C 足够大时，R_s 上压降足够大，晶闸管导通。晶闸管导通后就不能通过栅极电压控制 IGBT 的关断，使器件集电极电流增大，功耗过大而失效，即擎住效应。IGBT 关断中，如 du/dt 过高会导致 J2 位移电流大，也发生擎住效应。实际中要限制集电极电流、增加栅极电阻，使关断过程中电压上升速度减慢，防止 du/dt 太大。

④ 饱和压降。$U_{CE(SAT)}$ 与温度、I_C、栅极-发射极电压 U_{GE} 有关。$U_{CE(SAT)}$ 随 U_{GE} 增加而减小，随 I_C 增加而增大。I_C 较小时，$U_{CE(SAT)}$ 随温度升高而降低，I_C 较大时，$U_{CE(SAT)}$ 随温度升高而增加，对 IGBT 的并联有利。

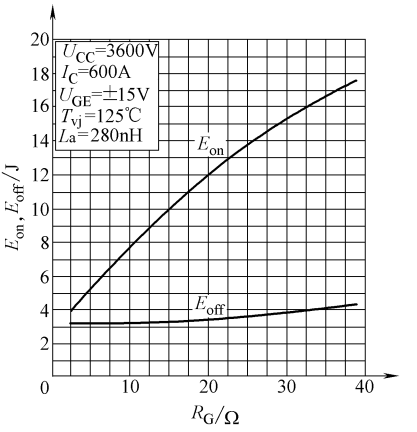


图 4-76　单次脉冲开关能耗与栅极电阻的关系

（2）额定值与特性值

1）额定值：

① U_{CES}：栅极-发射极短路时，集电极-发射极间的最高电压。

② U_{GES}：集电极-发射极短路时，栅极-发射极间的最高电压。

③ I_C：额定壳温下的最大集电极直流电流。

④ I_{CM}：定脉宽条件下，集电极允许最大脉冲峰值电流。

⑤ P_C：额定壳温下，每个 IGBT 开关所允许的最大功耗。

⑥ T_{jm}：最高工作结温，IGBT 能够正常工作的最高温度。

2）特性值：

① I_{CES}：栅极-发射极短路且 $U_{CE}=U_{CES}$时的集电极-发射极漏电流。

② $U_{GE(th)}$：栅极开启时，规定的集电极电流和集电极-发射极电压条件下的栅极-发射极电压。即 IGBT 的导通所需最小栅极-发射极电压。

③ I_{GES}：集电极-发射极短路及 $U_{GE}=U_{GES}$条件下的栅极-发射极漏电流。

表 4-15、表 4-16 是某型号 IGBT 产品额定值及特性值实例。

表 4-15　某型号 IGBT 产品额定值

参数	符号	条件	参数值	
			最小值	最大值
集电极-发射极电压/V	U_{CES}	栅极-发射极短路	—	6500
栅极-发射极电压/V	U_{GES}	集电极-发射极短路	-20	20
集电极电流(直流)/A	I_C(DC)	$T_C=85℃$	—	600
集电极峰值电流/A	I_{CM}	$t_p=1ms, T_C=85℃$		1200
结温/℃	T_J			125
浪涌电流/A	I_{FSM}	$U_R=0$，$T_J=125℃$，$t_p=10ms$ 正弦半波		6000

表 4-16　某型号 IGBT 产品特性值

参数	符号	条件	参数值		
			最小值	典型值	最大值
集电极-发射极饱和压降/V	$U_{CE(sat)}$	$I_C=600A$ $U_{GE}=15V$ $T_J=25℃$ $T_J=125℃$	—	4.2 5.4	4.8 5.9
集极-发射极截止电流/mA	I_{CES}	$U_{CE}=6500V$ $U_{GE}=0$ $T_J=25℃$ $T_J=125℃$	—	—	12 120
栅极漏电流/mA	I_{GES}	$U_{CE}=0$ $U_{GE}=\pm20V$ $T_J=125℃$	−500		+500
栅极开启电压/V	$U_{GE(th)}$	$I_C=240\ mA$ $U_{CE}=U_{GE}$ $T_J=25℃$	6.5	7.4	8.0
输入电容/nF	C_{ies}	$U_{CE}=25V$ $U_{GE}=0V$ $f=1MHz$ $T_J=25℃$	—	143	—
输出电容/nF	C_{oes}		—	6.62	—
反向传输电容/nF	C_{nes}		—	1.27	—
开通延时时间/ns	$t_{d(on)}$	$U_{CC}=3600V$ $I_C=600A$ $T_J=25℃$ $R_G=3.9\Omega$ $U_{GE}=\pm15V$ $T_J=125℃$ $R_G=3.9\Omega$ $U_{GE}=\pm15V$ $T_J=25℃$ $L_\sigma=280nH$ $T_J=125℃$	—	640	—
			—	570	—
上升时间/ns	t_r		—	270	—
			—	240	—
关断延迟时间/ns	$t_{d(off)}$		—	1540	—
			—	1860	—
下降时间/ns	t_f		—	620	—
			—	960	—

（3）应用

1）驱动。要求栅极驱动电压上升率和下降率陡峭，通断时间短，开关损耗降低。导通后驱动电路仍应提供足够大的驱动电压，使 IGBT 充分饱和、降低通态损耗、加快器件导通、减少开通损耗。但 U_{GE}上升后，器件承受短路电流能力下降，实际时 $+U_{GE}=10\sim15V$；关断时，加负栅极-发射极电压加速 IGBT 关断，减小关断损耗，一般 $-U_{GE}=-2\sim-15V$。栅极 R_G 减小导致开关时间缩短，开关损耗减小，但使栅极驱动抗干扰能力减弱。调整 R_G 可调节开关时间。电流容量大的 IGBT 需要 R_G 较小。

① 栅极驱动提供给 IGBT 驱动电压与电流有足够幅度，维持 IGBT 输出极处于饱和状态，当 IGBT 瞬间过载时，保证 IGBT 不退出饱和。

② IGBT 开关速度适当。过快时感性负载 $L\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 太大，可击穿 IGBT，也不能太短，要能承受 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ 的影响。

③ 驱动电路与控制电路要严格隔离，保护措施要完善。

④ 合理栅极驱动电路与 IGBT 的配线，栅极是高频信号，防止干扰造成 IGBT 误导通，相互布线要隔离，也可将多个 IGBT 捆扎。驱动电路线路尽量短，引线为屏蔽线，焊接要牢固。

⑤ 同一设备中，使用多个不等电位的 IGBT，要用光电隔离。

2）驱动方式：有分立元件和集成驱动芯片方式两种，见图 4-77。集成芯片可提供驱动电流放大能力，还能使控制电路和 IGBT 主电路之间电隔离。EXB 系列集成芯片有标准系列和高速系列，前者的 IGBT 开关频率不大于 10kHz，有 EXB850 和 EXB851；后者开关频率不大于 40kHz，有 EXB840 和 EXB841。高速系列主要应用场合见表 4-17。

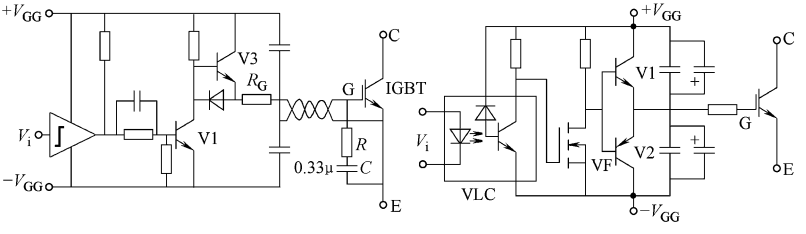


图 4-77　IGBT 栅极驱动电路

（4）保护　一般有 3 种，过电流信号检测切断栅极控制信号；缓冲电路抑制过电压，并限制 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$；传感器检测壳温控制主电路跳闸。

1）过电流保护：分为 2 种，一种是 1.2～1.5 倍的低倍数过电流保护，

另一种是不加保护时达 8 ~ 10 倍的短路电流保护。典型过电流保护电路见图 4-78。

表 4-17　EXB 高速系列集成芯片主要应用场合

IGBT 参数	600V IGBT 的驱动		1200V IGBT 的驱动	
	≤150A	≤400A	≤75A	≤300A
高速系列	EXB840	EXB841	EXB840	EXB841

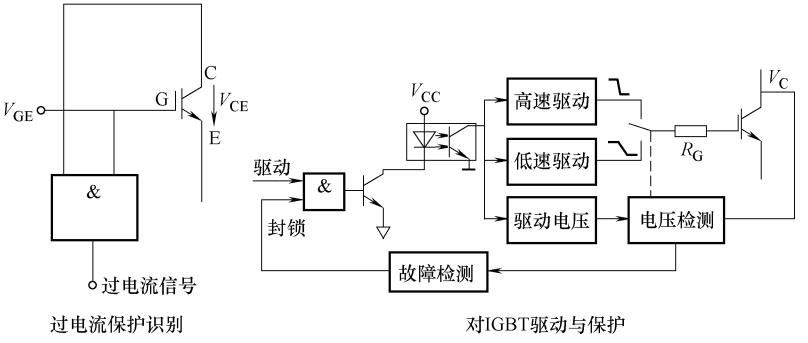


图 4-78　典型过电流保护电路

2）短路保护：用 IGBT 构成变流器中发生负载短路或同一桥臂出现直流时，直流电压直接加 IGBT 的 C、E 极，IGBT 集电极电流急剧上升，如不撤除驱动信号 IGBT 即烧毁，因此必须进行故障检测与保护。直流短路的产生，一般是桥臂中 1 个器件损坏或反并联二极管击穿；桥臂短路产生一般是控制电路、驱动电路故障或干扰信号引起的误动作，使 2 个 IGBT 同时导通；负载接地短路；输出短路。

IGBT 能承受短时的短路电流，该时间与 IGBT 导通饱和和压降有关，当饱和导通压降增加该时间延长。如 IGBT 饱和导通压降小于 2V，承受短路时间小于 5μs；IGBT 饱和导通压降 3V，承受短路时间 15μs；IGBT 饱和导通压降 4 ~ 5V，承受短路时间大于 30μs。为封锁短路电路，应在出现过电流时降低栅压，使过电流不能达到最大短路峰值。需要判断故障过电流的性质，如是瞬时过电流，可在过电流结束后即将栅压恢复到正常值，如是真过电流，可在延长时间的末端将栅压软关断到零，过电流封锁。图4-79是有延时搜索过电流保护的实用电路。正常工作时，V1 正偏导通，控制电压 $V_{CC} \approx V_{CC}' = +20V$。控制信号有效时，6N136 快速光耦合器输出高电平栅极电压 $V_{GE} = +15V$，IGBT 导通。R_6、C_1 为延时电路，经约 1.5μs 信号传输时间，尽管

C_1 按充电规律上升，但因 IGBT 饱和导通，V_{GE} 很低，V_M 是低电平，故 IGBT 正常工作时，V5 总截止。如发生故障，V_{GE} 升高，V2 导通，V_{CC} 降到 15V，V_{GE} 降到 10V，在 10μs 内如 V_M 又恢复到低电平，即假设过电流，电路恢复正常工作；如过电流大于 10μs 即为真过电流，此时 V_M 继续上升，V3 导通，栅极信号被封锁，由于 C_2 放电，IGBT 低速关断。

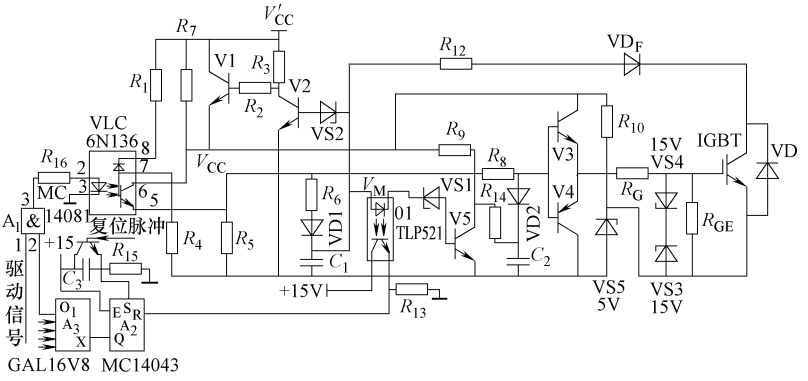
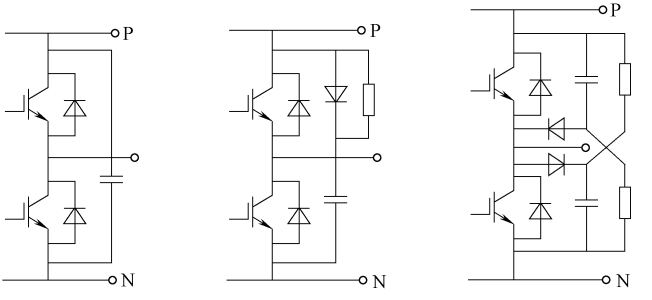


图 4-79　IGBT 驱动与过电流保护电路

3）过电压保护：主电路中有感性元件和引线电感，IGBT 快速关断时会因配线电感的能量释放或辅助回路中续流二极管反向恢复产生开关浪涌电压，可危害 IGBT，应加以抑制，见图 4-80。电路中吸收电容 $C_S = L(i^2/\Delta u^2)$，其中 L 为引线电感；i 为 IGBT 快速关断时的电流；Δu 为 C_S 的电压过冲。当 $L = 1\mu H/m$ 时，IGBT 为额定电流时 C_S 的推荐值见表 4-18。



a) 用于不大于500A模块　b) 用于不大于200A模块　c) 用于不大于300A模块

图 4-80　过电压抑制保护电路

表 4-18 IGBT 为额定电流时 C_S 的推荐值

IGBT 额定电流/A	C_S/μF	IGBT 额定电流/A	C_S/μF
75	0.15 ~ 0.33	200	0.47 ~ 1.5
100	0.22 ~ 0.68	300	0.68 ~ 2.2
150	0.33 ~ 1.0	400	1.0 ~ 3.3

4）防静电：与功率 MOSFET 相同。

（5）IGBT 并联　有静态及动态均流问题，并联的 IGBT 饱和压降 $U_{CE(sat)}$ 应相近，在大电流下有正温度系数，可改善均流。影响动态均流的因素主要有开启电压、栅极电阻、开通时间及关断时间等，并联 IGBT 开启电压一致，各并联支路栅极电阻及开关时间需匹配。具体选用同一等级 $U_{CE(sat)}$ 模块，表 4-19 为某产品 IGBT 的 $U_{CE(sat)}$ 等级分类。

表 4-19 某产品 IGBT 的 $U_{CE(sat)}$ 等级分类

等级号	$U_{CE(sat)}$/V	等级号	$U_{CE(sat)}$/V
C	1.70 ~ 1.95	G	2.50 ~ 2.80
D	1.90 ~ 2.15	H	2.75 ~ 3.05
E	2.10 ~ 2.35	J	3.00 ~ 3.30
F	2.30 ~ 2.55	K	3.25 ~ 3.55

1）并联时各 IGBT 不平衡率不大于 | ±18% |。

2）并联的接线情况：

① 栅极驱动电路接线。栅极到各模块驱动极配线长度相等、引线电感一致；主电源到各模块接线长度相等，引线电感一致；控制电路用双绞线或屏蔽线；主电路用电感接线，接线靠各模块引出端，用铜排或扁平线。

② 并联使用场合，如驱动电路只用 EXB841 或 EXB851，输出电流可能受到限制，不能提供模块驱动所需的栅极电流；在 EXB841 或 EXB851 外部加缓冲级，输出电流增加，但因内部的过电流保护时间很难设定，一般不建议采用。

常见并联驱动电路见图 4-81。

（6）参数选用

1）电流额定值。IGBT 的 I_C 为所允许滞留电流最大值，对整流桥二极管、逆变桥用 IGBT，计算该变流器每相峰值电流：I_P = 变流器容量（V · A）× 过载倍数 × 1.414 × 波形折算系数/(1.732 交流相电压)。

例如，20kV · A、输入相电压 220V 的变频器，I_P = (20 000 × 1.5 × 1.414 × 1.2) A/(220 × 1.732) = 133.75A

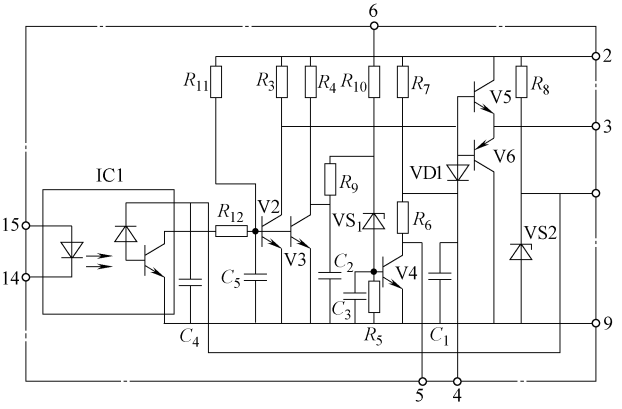


图 4-81　常见并联驱动电路

故应选取 150A 的 IGBT。

2）额定电压选择。需要考虑交流输入整流后的直流电压、开关时产生的浪涌电压的影响，额定电压确定后还必须检查 dI_C/dt、栅极驱动效果整个系统的配线、过载保护等。对输入电压低于 AC 220V，选 U_{CES} 为 600V 的 IGBT；AC 220V ~ 380V选 U_{CES} 为 1200V；高于 AC 440V，选 U_{CES} 为 1600V。

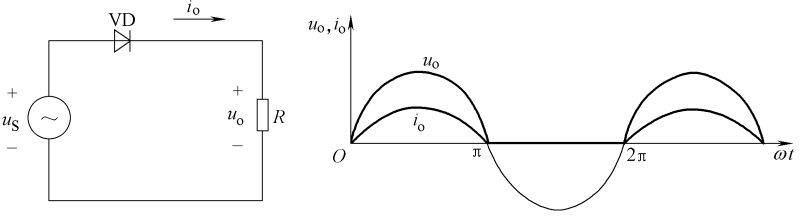
3）散热：保证 IGBT 外壳的温度在最大负载时不超过 IGBT 所允许的最高壳温。

四、整流电路

1. 不控整流电路

（1）单相半波不控整流电路

1）阻性负载：1 个整流二极管，见图 4-82。此时输出的是输入半个交流电压波形，且负载电流 i_o 和负载电压 u_o 波形相同。



电路　　工作波形

图 4-82　单相半波不控整流电路及工作波形（阻性负载）

电源电压为 $u_S=\sqrt{2}E\sin\omega t$ 时，流过电阻负载的输出电压平均值为

$$U_o=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t=\frac{\sqrt{2}E}{\pi} \tag{4-11}$$

式中，E 为输入交流电压有效值。

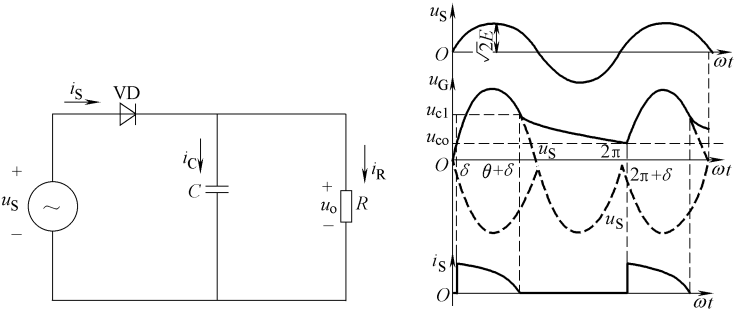
输出电流平均值为

$$I_{o,av}=\frac{\sqrt{2}E}{\pi R} \tag{4-12}$$

输出电流有效值为

$$I_o=\frac{\sqrt{2}E}{2R} \tag{4-13}$$

2）阻容并联负载：R 并联 C，提高输出平均电压，减小输出电压脉动，见图 4-83。输入电压正半周，当 $\omega t=\delta$，输入电压高于电容电压时，VD 导通，电容充电，电容电压为输入电压；随输入电压下降，流过电阻和电容电流大小相等、方向相反时，输入电流下降至零，即 $\omega t=\delta+\theta$ 时，VD 截止，C 通过 R 放电。



电路　　工作波形

图 4-83　单相半波不控整流电路及工作波形（阻容并联负载）

输出电压为

$$u_o=\sqrt{2}E\sin\omega t \tag{4-14}$$

负载电阻 R 电流为

$$i_R=\frac{\sqrt{2}E}{R}\sin\omega t \tag{4-15}$$

电容 C 电流为

$$i_C=\sqrt{2}E\omega C\cos\omega t \tag{4-16}$$

输入电源电流（即 VD 电流）为

$$i_S = i_R + i_C = \frac{\sqrt{2}E}{|Z|}\sin(\omega t + \varphi) \tag{4-17}$$

其中 $|Z| = \dfrac{R}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$，$\varphi = \arctan(-\omega RC)$。

VD 截止后，电容 C 通过电阻 R 放电，此时的负载电阻电流为

$$i_R = \frac{\sqrt{2}E}{R}\sin\varphi e^{-\frac{\omega t-\pi+\varphi}{\omega RC}} \tag{4-18}$$

输出电压为

$$u_o = \sqrt{2}E\sin\varphi e^{-\frac{\omega t-\pi+\varphi}{\omega RC}} \tag{4-19}$$

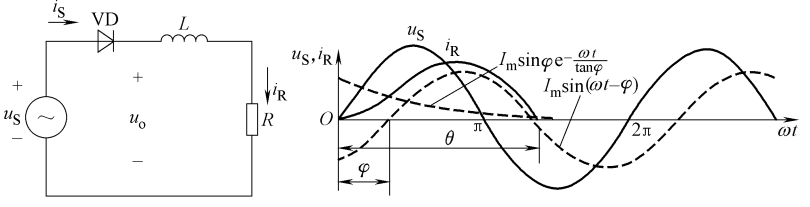
负载 R 电流平均值为

$$I_{R,av} = \frac{\sqrt{2}E}{|Z|}\frac{(1-\cos\theta)}{2\pi} \tag{4-20}$$

输出电压平均值为

$$U_o = \frac{\sqrt{2}E}{2\pi}\sqrt{1+\omega^2R^2C^2}\,(1-\cos\theta) \tag{4-21}$$

3）电感电阻串联负载：R 串联 L，扩展 VD 导通时间，见图 4-84。输入正半周 VD 导通，输入电压加在 R 和 L，给 R 供电、L 储能，负载电流逐渐增大。随输入电压逐渐降低。当低于 R 上的电压时，L 放电。输入电压降至零后，电感电流维持 VD 导通，放电电流下降。当电感电流降至零时，VD 截止。



电路　　工作波形

图 4-84　单相半波不控整流电路及工作波形（电感电阻串联负载）

VD 导通时，负载电流为

$$i_R = I_m\sin(\omega t-\varphi) + I_m\sin\varphi e^{-\frac{\omega t}{\tan\varphi}} \tag{4-22}$$

其中 $I_m = \dfrac{\sqrt{2}E}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$，$\varphi = \arctan\dfrac{\omega L}{R}$。

负载平均电流为

$$I_{R,av}=\frac{\sqrt{2}E}{2\pi R}(1-\cos\theta) \tag{4-23}$$

输出平均电压为

$$U_o=\frac{\sqrt{2}E}{2\pi}(1-\cos\theta) \tag{4-24}$$

（2）单相全波不控整流电路　2 个二极管和 1 个中心抽头变压器，供两个相对中性点 N 相位差 180°的 u_1 和 u_2，见图 4-85。电源 u_S 正时，u_1 为正 u_2 为负，VD1 导通；u_S 负时，u_2 为正 u_1 为负，VD2 导通。

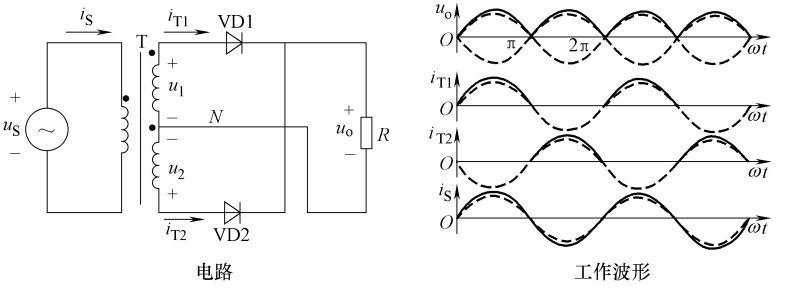


图 4-85　单相全波布控整流电路及工作波形

阻性负载平均电压为

$$U_o=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t=\frac{2\sqrt{2}E}{\pi} \tag{4-25}$$

阻性负载平均电流为

$$I_{R,av}=\frac{2\sqrt{2}E}{\pi R} \tag{4-26}$$

（3）单相全桥不控整流电路

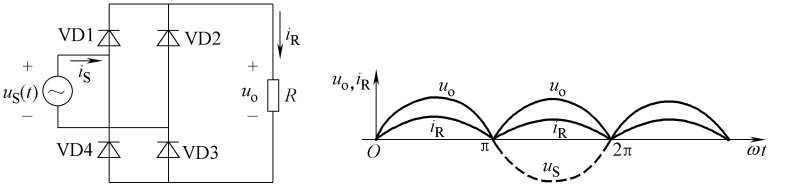
1）阻性负载。如图 4-86 所示，输入电压正半周时，VD1、VD3 导通；负半周时，VD2、VD4 导通。输出电压均为正。

负载电流平均值为

$$I_{R,av}=\frac{2\sqrt{2}E}{\pi R} \tag{4-27}$$

负载电流有效值为

$$I_R=\frac{E}{R} \tag{4-28}$$



电路　　工作波形

图 4-86　单相全桥不控整流电路（阻性负载）及工作波形

输出电压平均值为

$$U_o = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi} \quad (4\text{-}29)$$

2）电阻电容并联负载。如图 4-87 所示，负载 R，直流滤波电容 C 取值较大使输出电压 u_o 脉动小。图 4-88 为稳定工作波形。电源电压正半波瞬时值 $u_S > u_o$ 时（$\delta \leqslant \omega t \leqslant \theta + \delta$），VD1、VD3 导通，$u_S$ 加到 C 和负载，C 储能；在 u_S 负半周，$|u_S| > u_o$ 时（$\pi + \delta \leqslant \omega t \leqslant \pi + \theta + \delta$），VD2、VD4 导通，给负载供电，$C$ 储能；在 u_S 正或负半周，$|u_S| < u_o$ 时（$\theta \leqslant \omega t \leqslant \pi$ 和 $\pi + \theta + \delta \leqslant \omega t \leqslant 2\pi + \delta$，二极管均截止，$C$ 对 R 放电。

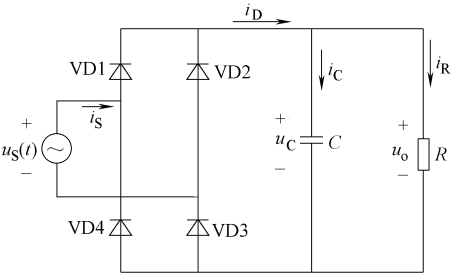


图 4-87　电容滤波单相桥式不控整流电路

输入电压 u_S 与 u_o 交点处，即 $\omega t = \delta$ 时，VD1、VD3 导通，则

$$u_o = u_s(\omega t) = \sqrt{2}E\sin\omega t \quad (4\text{-}30)$$

电容电流为

$$i_C = \sqrt{2}E\omega C\cos\omega t \quad (4\text{-}31)$$

负载电流为

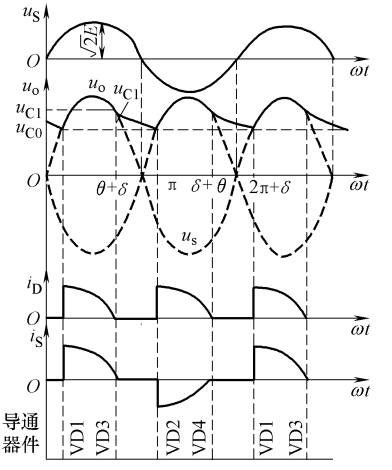


图 4-88　电容滤波单相桥式不控电路整流波形

$$i_R = \frac{u_o}{R} = \frac{u_S}{R}\frac{\sqrt{2}E}{R}\sin\omega t \tag{4-32}$$

流经二极管直流侧输出电流为

$$i_D = i_C + i_R = \sqrt{2}E\omega C\cos\omega t + \frac{\sqrt{2}E}{R}\sin\omega t \tag{4-33}$$

整流输出电压的平均值为

$$U_o = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi}\sin\frac{\theta}{2}\left[\sin\left(\delta + \frac{1}{2}\theta\right) + \omega RC\cos\left(\delta + \frac{1}{2}\theta\right)\right] \tag{4-34}$$

如果考虑电源变压器漏感、引线漏感 L_S 或直流侧电感 L_d，则 i_D 逐渐上升到最大值，见图 4-89。为抑制电流冲击，加宽导电角，在直流侧串联一小电感，构成 LC 滤波电路。

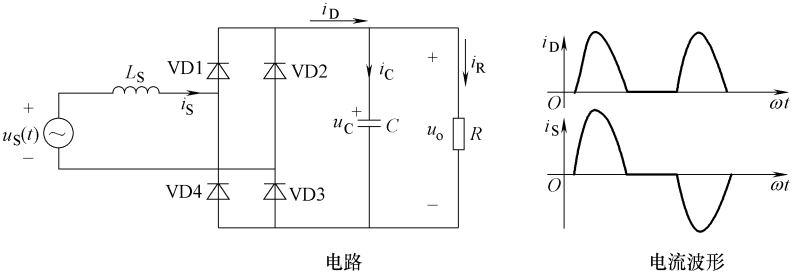


图 4-89　带电容滤波的单相桥式不控整流电路及电流波形

3）电阻电感串联负载。R 串联 L，可平滑输出电流波形，见图 4-90。输入电压正半周时 VD1、VD3 导通。负半周时 VD2、VD4 导通。

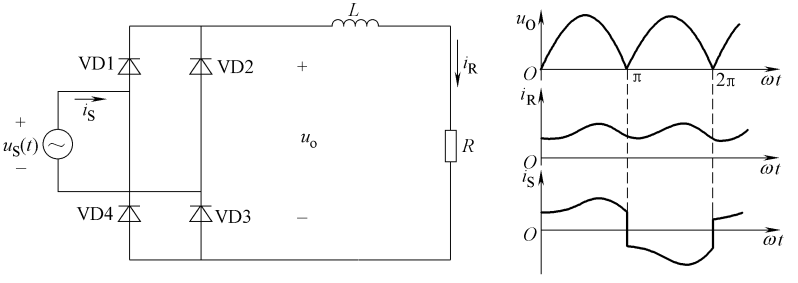


图 4-90　单相全桥不控整流电路（R、L 串联负载）及工作波形

负载电流平均值为

$$I_{R,av} = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi R} \tag{4-35}$$

输出电压平均值为

$$U_o = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi} \tag{4-36}$$

（4）三相桥式不控整流电路

用6个二极管构成见图4-91，输出电压波形见图4-92。

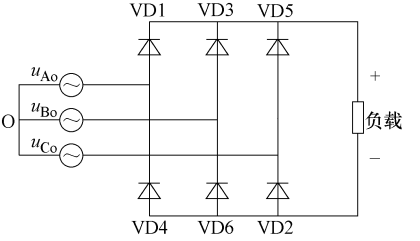


图4-91　三相桥式不控整流电路

三相桥式不控整流电路负载电压平均值为

$$U_o = \frac{1}{\pi/3}\int_{\pi/3}^{2\pi/3}\sqrt{6}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \tag{4-37}$$

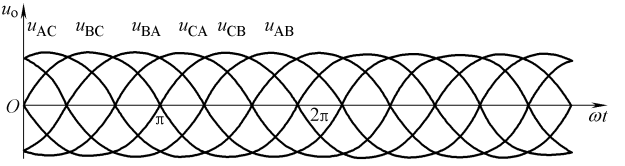


图4-92　三相桥式不控整流电路的输出电压波形

负载平均电流为

$$I_{R,av} = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi R} \tag{4-38}$$

1）负载为 R 时：

相电流有效值为

$$I_{A,eff} = \frac{E}{R}\sqrt{\frac{2\pi + 3\sqrt{3}}{\pi}} \tag{4-39}$$

负载电流有效值

$$I_{R,ff} = \sqrt{\frac{6\pi + 9\sqrt{3}}{2\pi}}\,\frac{E}{R} \tag{4-40}$$

2）负载为 R 串联大电感 L 时：

相电流有效值为

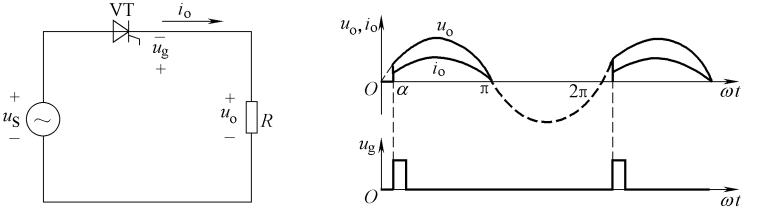
$$I_{A,eff} = \frac{6}{\pi}\,\frac{E}{R} \tag{4-41}$$

负载电流有效值为

$$I_{R,\mathrm{eff}}=\frac{3\sqrt{6}}{\pi}\frac{E}{R} \tag{4-42}$$

2. 相控式整流电流

（1）单相半波相控式整流电路　由 1 个晶闸管控制负载，见图 4-93。输入电压正半周时，VT 门极触发脉冲 u_g，VT 导通。触发脉冲延迟一定角度，可控制负载电压。纯阻性负载时，负载电流 i_o 和电压 u_o 波形同步；感性负载时，u_o 过零后，负载电流不同步到零，VT 仍导通，负载电流到零时 VT 关断。



电路　　工作波形

图 4-93　单相半波相控整流电路及工作波形（阻性负载）

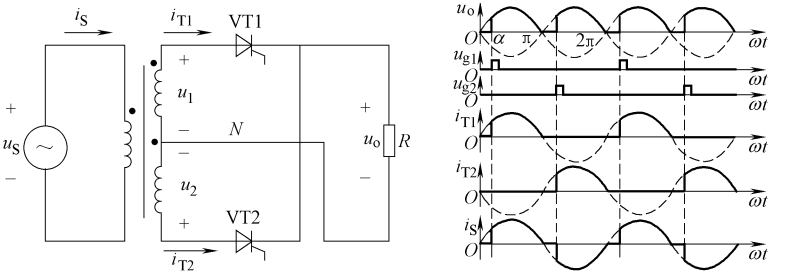
负载为电阻时，输出电压平均值为

$$U_o=\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t=\frac{\sqrt{2}E}{2\pi}(1+\cos\alpha) \tag{4-43}$$

其负载电流有效值为

$$I_{R,\mathrm{eff}}=\frac{E}{2R}\sqrt{\frac{1}{\pi}[2(\pi-\alpha)+\sin2\alpha]} \tag{4-44}$$

（2）单相全波相控式整流电路　用中心抽头变压器，提供两个相对中性点 N 相差 180°的 u_1 和 u_2。图 4-94 中晶闸管触发脉冲延迟 1 个角度 α。纯



电路　　工作波形

图 4-94　单相全波相控式整流电路及工作波形

阻性负载电压平均值为

$$U_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t = \frac{\sqrt{2}E}{\pi}(1+\cos\alpha) \tag{4-45}$$

阻性负载电流平均值为

$$I_{R,av} = \frac{\sqrt{2}E}{\pi R}(1+\cos\alpha) \tag{4-46}$$

（3）单相桥式相控式整流电路　由 4 个晶闸管控制负载电压即为全控桥整流电路，见图 4-95。若用 VT1、VT2 和 VD3、VD4，则构成半控桥整流电路。单相桥式整流电路纯阻性负载输出电压波形与单相全波整流电路相同，半控桥式整流电路感性负载时的输出电压波形与单相全波整流电路相同。

图 4-96 为全控桥式整流电路大感性（理论认为电感无限大）负载的电压、电流波形。u_s 正半周时，加 u_{g1} 和 u_{g3}，VT1、VT3 导通；负半周时，加 u_{g2} 和 u_{g4}，VT2、VT4 导通。如感性负载，当电源电压过零时，输出电流不降到零。如大电感，输出电流近似恒定。因此 VT1、VT3 导通时，当输出电压下降到零后，因 VT2、VT4 还无触发信号，VT1、VT3 不能换流关断，继续导通，u_o 将反向增加。VT2、VT4 导通时类似。此时输出电压平均值为

$$U_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t = \frac{\sqrt{2}E}{\pi}\cos\alpha \tag{4-47}$$

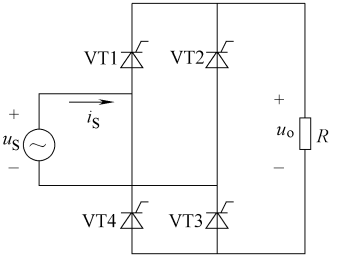


图 4-95　单相桥式相控式整流电路

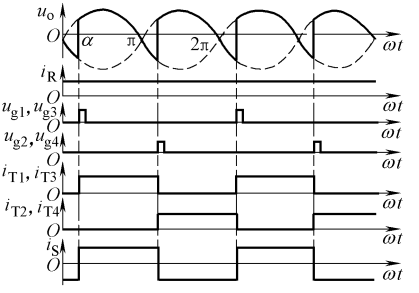


图 4-96　单相桥式全控整流大感性负载波形

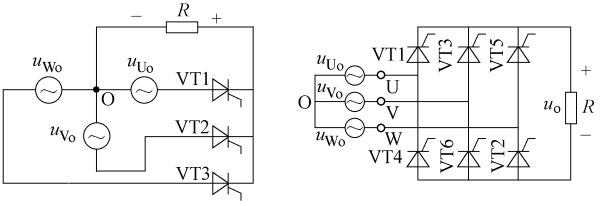
负载电流平均值为

$$I_{R,av} = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi R}\cos\alpha \tag{4-48}$$

（4）三相相控式整流电路　如图 4-97a 所示，晶闸管 VT1、VT2、VT3 触发相位依次相差 120°，三相半波整流电路电源电流中含直流成分，大功

率场合不使用该方式。图 4-97b 为三相桥式相控式整流电路，6 个晶闸管 VT1 ~ VT6 触发信号相位依次差 60°。

1）三相半波相控式整流：输出电压波形见图 4-98。



a) 半波整流电路　　b) 桥式全波整流电路

图 4-97　三相相控式整流电路

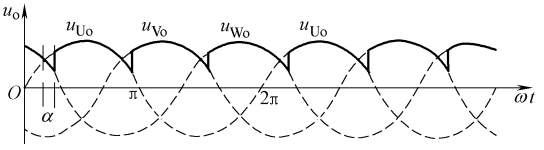


图 4-98　三相半波整流电路波形

① 纯阻性负载。当 $0 \leqslant \alpha \leqslant \pi/6$ 时，负载电流连续，负载电压平均值为

$$U_o = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi}\cos\alpha \tag{4-49}$$

输入相电流有效值为

$$I_{U,eff} = \frac{E}{R}\sqrt{\frac{4\pi + 3\sqrt{3}\cos 2\alpha}{12\pi}} \tag{4-50}$$

负载电流有效值为

$$I_{R,eff} = \frac{E}{R}\sqrt{\frac{4\pi + 3\sqrt{3}\cos 2\alpha}{4\pi}} \tag{4-51}$$

当 $\pi/6 \leqslant \alpha \leqslant 5\pi/6$ 时，负载电流断续，负载电压值为

$$U_o = \frac{3\sqrt{2}E}{2\pi}\left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right)\right] \tag{4-52}$$

输入相电流有效值为

$$I_{U,eff} = \frac{E}{R}\sqrt{\frac{5\pi/3 - 2\alpha + \sin(2\alpha + \pi/3)}{4\pi}} \tag{4-53}$$

负载电流有效值为

$$I_{R,eff}=\frac{E}{R}\sqrt{\frac{5\pi/3-2\alpha+\sin(2\alpha+\pi/3)}{4\pi/3}} \tag{4-54}$$

② 感性负载。负载电流连续时，三相半波相控式整流电路负载电压平均值为

$$U_o=\frac{1}{2\pi/3}\int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha}\sqrt{2}E\sin\omega t\mathrm{d}\omega t=\frac{3\sqrt{6}E}{2\pi}\cos\alpha \tag{4-55}$$

2）三相桥式相控式整流。感性负载时的电路波形见图 4-99，R、S、T、U、V、W 分别是 VT1、VT3、VT5、VT2、VT4、VT6 的自然转换点，此点后移触发延迟角 α 加触发信号，R'、S'、T'、U'、V'、W' 分别是 VT1、VT3、VT5、VT2、VT4、VT6 的实际转换点。

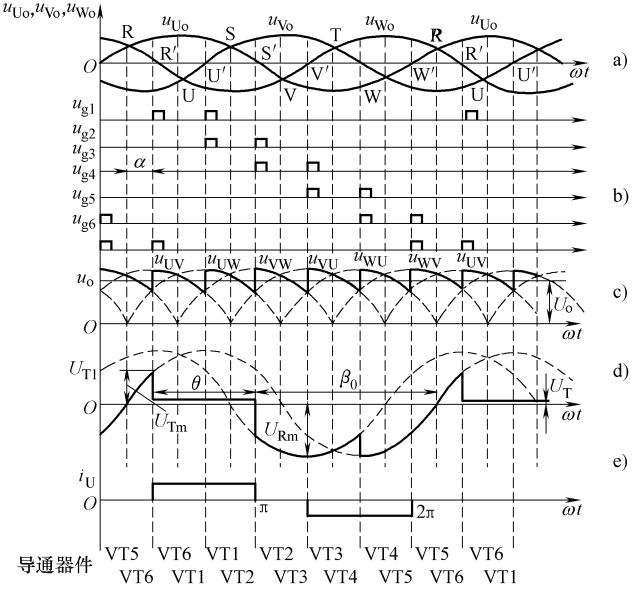


图 4-99　三相桥式全波整流电路带感性负载电路波形

a）输入相电压　b）控制信号　c）输出电压

d）晶闸管 VT1 端电压　e）A 相电流

① 纯阻性负载：当 $0\leqslant\alpha\leqslant\pi/3$ 时，负载电流连续，负载电压平均值为

$$U_o=\frac{3\sqrt{6}E}{\pi}\cos\alpha \tag{4-56}$$

输入相电流有效值为

$$I_{\mathrm{U,eff}}=\frac{E}{R}\sqrt{\frac{2\pi+3\sqrt{3}\cos 2\alpha}{\pi}} \tag{4-57}$$

负载电流有效值为

$$I_{\mathrm{R,eff}}=\frac{\sqrt{6}E}{2R}\sqrt{\frac{2\pi+3\sqrt{3}\cos 2\alpha}{\pi}} \tag{4-58}$$

当 $\pi/3\leqslant\alpha\leqslant 2\pi/3$ 时，负载电流断续，此时负载电压平均值为

$$U_{\mathrm{o}}=\frac{3\sqrt{6}E}{\pi}\left[1+\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)\right] \tag{4-59}$$

输入相电流有效值为

$$I_{\mathrm{U,eff}}=\frac{E}{R}\sqrt{\frac{4\pi-6\alpha-3\sin(2\alpha-\pi/3)}{\pi}} \tag{4-60}$$

负载电流有效值为

$$I_{\mathrm{R,eff}}=\frac{\sqrt{6}E}{2R}\sqrt{\frac{4\pi-6\alpha-3\sin(2\alpha-\pi/3)}{\pi}} \tag{4-61}$$

② 负载为强感性：如 L 很大，负载电流连续时，负载电压平均值为

$$U_{\mathrm{o}}=\frac{1}{\pi/3}\int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha}\sqrt{6}E\sin\omega t\,\mathrm{d}\omega t=\frac{3\sqrt{6}E}{\pi}\cos\alpha \tag{4-62}$$

负载电流平均值为

$$I_{\mathrm{R,av}}=\frac{3\sqrt{6}E}{\pi R}\cos\alpha \tag{4-63}$$

输入相电流有效值为

$$I_{\mathrm{U,eff}}=\frac{6E}{\pi R}\cos\alpha=\sqrt{\frac{2}{3}}I_{\mathrm{R,av}} \tag{4-64}$$

3. PWM 整流电路

输入侧功率因数为 1，即输入侧电流 i_{S} 无畸变且与输入侧电压 u_{S} 同步；负载侧 $u_{\mathrm{o}}=U_{\mathrm{o}}$ 为电压型或输出 $i_{\mathrm{o}}=I_{\mathrm{o}}$ 为电流型；输出电压能快速调节；双向传递能量。半控式整流无法实现，全控型器件组成 PWM 斩控式整流电路。

（1）单相单管电路　以中小功率 Boost 型单管单相功率因数校正电路为例，在单相不控整流电路的输出端和负载间插入一级有源器件组成有源功率因数校正电路，见图 4-100 点画线框，由可控自关断器件 VI、VD、L 和 C 组成 Boost 电路。设 L 足够大，电路连续导通；C 足够大，输出电压近似恒定。$u_{\mathrm{S}}=\sqrt{2}E\sin\omega t$ 时，不控整流桥输出电压 u_{d} 的瞬时值为$\sqrt{2}E\,|\sin\omega t|$。

VI 导通时，VD 截止，电感电流呈线性增加、储能，电容给负载供电；

VI 截止时 VD 导通，电感能量传输到负载，同时 C 充电。控制占空比可调节输出电压、控制输入阻抗的相位和幅值，当输入阻抗近于纯电阻时，输入侧 i_S 与 u_S 同相，实现功率因数校正，见图 4-101。

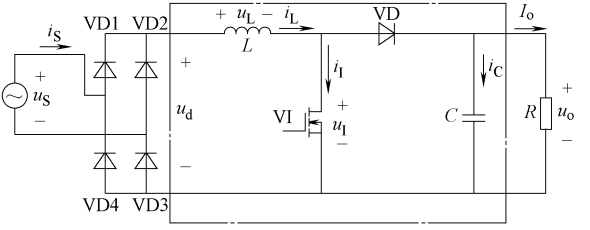


图 4-100　Boost 型单管单相功率因数校正电路

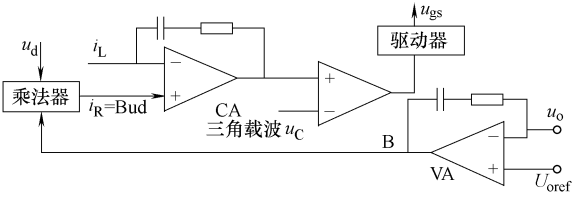


图 4-101　单相电压单管有源功率因数校正电路

（2）单相桥式电路　如图 4-102 所示，该电路实现能量双向流动。输入功率因数为 1 时，u_S 与 i_S 同相，整流桥侧 u_a 与输入 u_S 和电感 u_L 关系见图 4-103，波形见图 4-104。调节占空比，可控制整流桥侧 u_a，通过交流侧有功和无功功率控制，实现高功率因数的 PWM 整流器。

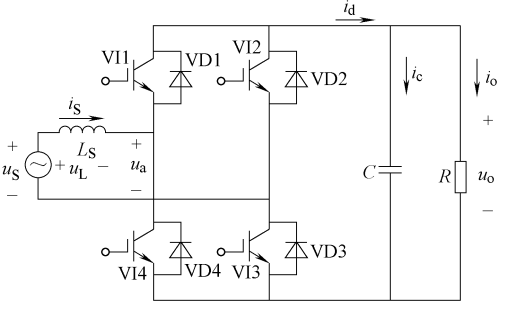


图 4-102　单相桥式 PWM 整流电路

（3）三相桥式电路　大功率整流电路采用三相结构，电压型三相半桥式 PWM 整流电路见图 4-105，频率调制比 $k=3$ 时的波形见图 4-106。

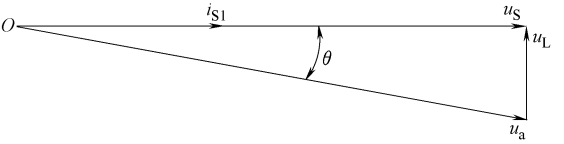


图 4-103　功率因数为 1 时 u_a 与 u_S 和 u_L 的关系

幅度调制比为

$$m=\frac{U_{Gm}}{U_{Cm}} \qquad (4\text{-}65)$$

式中　U_{Gm}——各相正弦调制信号的幅值；

U_{Cm}——三角载波信号 u_C 的幅值。

频率调制比为

$$K=\frac{f_C}{f} \qquad (4\text{-}66)$$

式中　f_C——三相载波信号 u_C 的频率；

f——各相正弦调制信号的频率

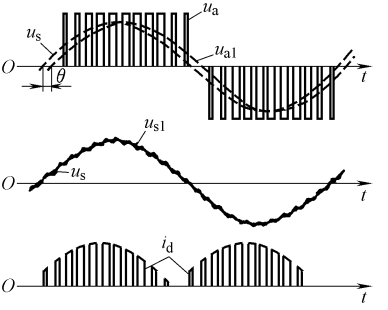


图 4-104　功率因数 1 时单相桥式 PWM 整流波形

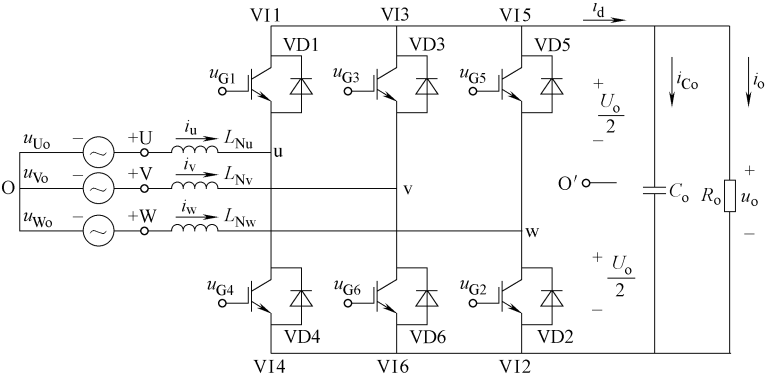
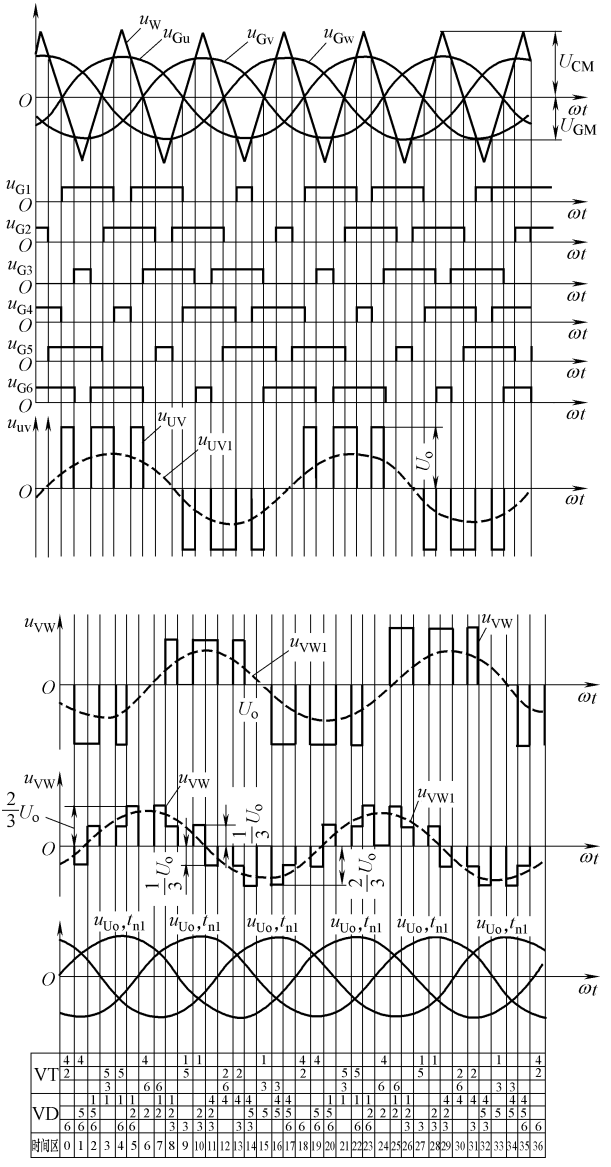


图 4-105　电压型三相半桥式 PWM 整流电路

电压型三相 SPWM 整流电路控制框图见图 4-107，采用电压外环和电流内环的双环控制。

五、逆变电路

将直流电转为极性周期改变的交流电，直流电源能向交流负载提供能量，即直流→交流。


u_W
u_{Gu}
u_{Gv}
u_{Gw}
U_{CM}
U_{GM}
O
ωt
u_{G1}
u_{G2}
u_{G3}
u_{G4}
u_{G5}
u_{G6}
u_{uv}
u_{UV}
u_{UV1}
U_o
u_{VW}
u_{VW1}
$\frac{2}{3}U_o$
$\frac{1}{3}U_o$
u_{Uo}, i_{n1}

| | | |

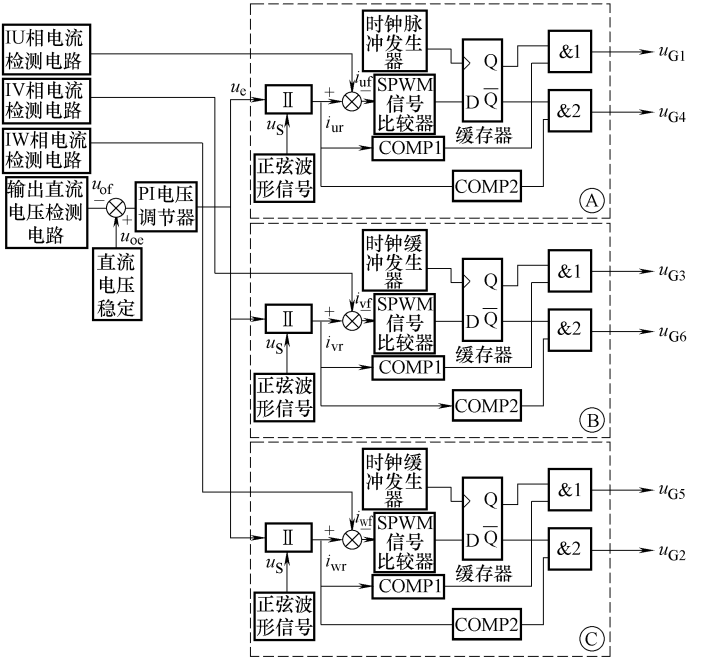


图 4-107　电压型三相 SPWM 整流电路的控制框图

1. 基本拓扑

电压源输入单端逆变器用串联谐振的负载，用反向导通的功率开关实现零电流开通、零电压关断，见图 4-108。适当负载匹配后产生谐振，用谐振电压/电流极性改变的性质，由变压器将交流形式的电能耦合、传输到负载。

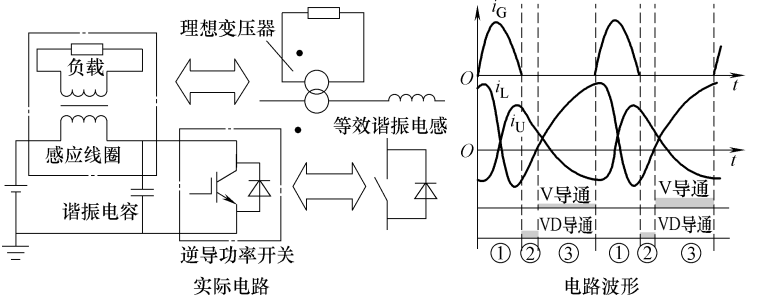


图 4-108　典型单端谐振逆变器原理和工作过程

用负载谐振换流，使输出交流电压频率和器件开关频率一致。器件电压、电流峰值大，负载电压畸变大。用于感应加热、家用电热器等小输出功率、频率高、对输出谐波要求不高的场合。

2. 推挽逆变电路

典型推挽逆变电路见图 4-109，电源经 1 个三绕组变压器和 2 个功率开关交替向负载供电，通过变压器绕组同名端和开关时序安排，输出电压极性在 1 个输出周期中改变 1 次或多次。变压器存在非理想特性，漏感储能导致推挽机构功率开关耐受电压可能大于 2 倍输入电压，对变压器制造工艺、关断电路要求高，用高频调制技术时，变压器励磁为工频基波 + 高频谐波，对磁性材料要求高。适用于中小功率场合。

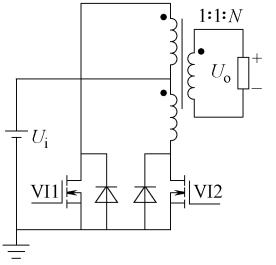


图 4-109　典型推挽逆变电路

3. 桥式逆变电路

如图 4-110 所示，两组功率开关串联于电源构成桥臂，串联中性点输出。按开关通断组合，桥臂可将所跨接 2 个不同电位作输出，合理安排桥臂输出电位生成正负输出电压。控制、组合方式灵活，自换流或负载换流均可。桥式电路可组合成半桥、全桥、三相桥、多电平桥式电路、多重化桥式电路等。

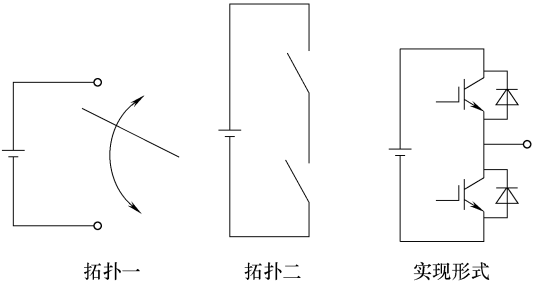
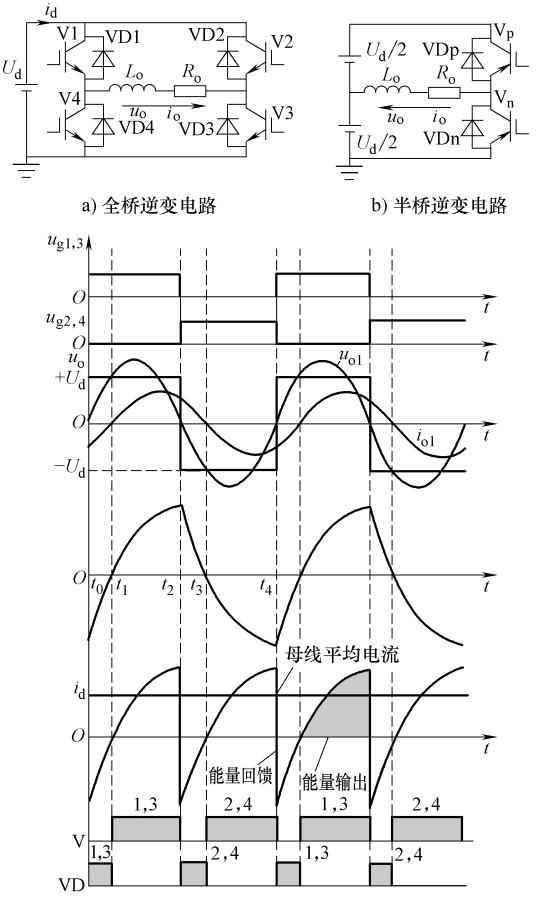


图 4-110　桥式逆变电路的基本拓扑结构和实现形式

4. 方波逆变电路

（1）单相方波逆变电路　全桥和半桥单相方波逆变电路见图 4-111a、b，两路占空比 50% 的周期互补信号分别控制半桥上下开关管 V_p、V_n 或全桥两组开关 V1、V3 及 V2、V4。



a) 全桥逆变电路　　b) 半桥逆变电路

c) 全桥方波逆变基本波形

图 4-111　单相方波逆变电路工作原理与基本波形

1）输出电压。图 4-111c 中，逆变电路输出交变方波，电压 u_o，频率 f、正负幅值均为 U_d，傅里叶展开式为

$$u_o = \sum_n \frac{4U_d}{n\pi}\sin n\omega t(n = 1,3,5,\cdots) \tag{4-67}$$

输出电压基波峰值为

$$U_{o1m} = \frac{4U_d}{\pi} \approx 1.273U_d \tag{4-68}$$

输出电压有效值为

$$U_{o1}=\frac{U_{o1m}}{\sqrt{2}}\approx 0.900U_d \tag{4-69}$$

基波电压增益为

$$A_v=\frac{U_{o1}}{U_d}\approx 0.900 \tag{4-70}$$

2）换流过程。图 4-111a 中电压与电流为参考方向。设电路已处于稳态，t_0 时 V1、V3 导通同时关断 V2、V4，输出 $+U_d$，感性负载的电流滞后输出电压，输出正电压的一段时间内负载电流仍为负，t_0 时刻负载电流从 V2、V4 强制换到 V3、V1 的反并联 VD3、VD1，负载电感磁场储能向直流母线馈送，负载电流绝对值按指数曲线下降到零。非纯阻性负载时，负载电流与输出电压有相位差。两者方向不一致时改变开关状态，若负载电流滞后，电流从开关管转到二极管，若负载电流超前，电流从续流二极管转到开关管。

3）电路特点：

① 输出方波。交变方波输出，与负载无关。可调节方波逆变输出电压；通过移相调压，可以两套方波逆变器通过变压器输出串联移相调压，或相移调压全桥逆变电路。

② 输出电压谐波含量大。

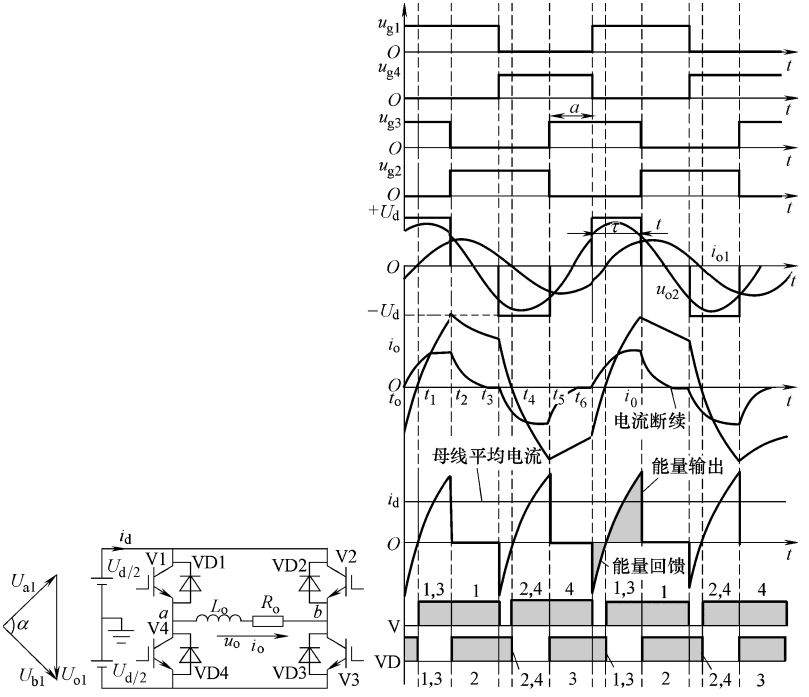
③ 直流电压利用率高。一定幅值的直流电压可逆变产生交流输出电压基波有效值，直流电压利用率可达 0.9。

（2）全桥相移式调压逆变电路　典型方波逆变电路自身不能调节电压，全桥移相逆变电路可在方波逆变基础上不改变主电路调节输出电压，见图 4-112a，以直流母线中心抽头为电位参考点，两组共用直流母线的半桥产生两路交变方波输出，此输出基波矢量相对 α 可调，连续改变 $\alpha=0\sim\pi$，可调节两路输出电压之差由零到最大值，输出之差幅值最大时为各自的 2 倍。如将负载接在两个半桥的输出端，在两端产生可调节电压，实现调压逆变。此时母线中心抽头仅是电位参考点，电路简化为与一般全桥方波逆变电路拓扑结构完全相同，只是开关管驱动信号安排有区别，2 个桥臂各自用一组同频率占空比 50% 的互补方波驱动信号，通过角度差变化调节电压。半桥电路不能使用移相调压控制。

全桥移相方波逆变调压方式的换流过程，见图 4-112b。

5. 三相方波逆变电路

大容量三相结构逆变器，可负载平衡，图 4-113a 为主电路。设电路为



a) 两个半桥方波逆变的输出电压移相电路和基波失量

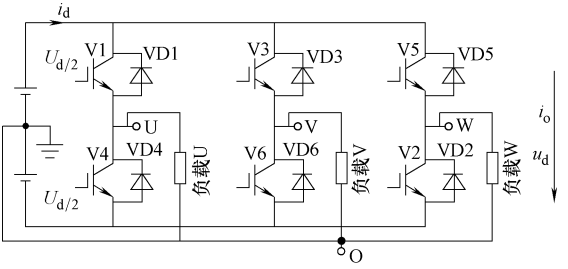
b) 移相方波逆变电路波形

图 4-112　方波移相调压逆变电路与波形

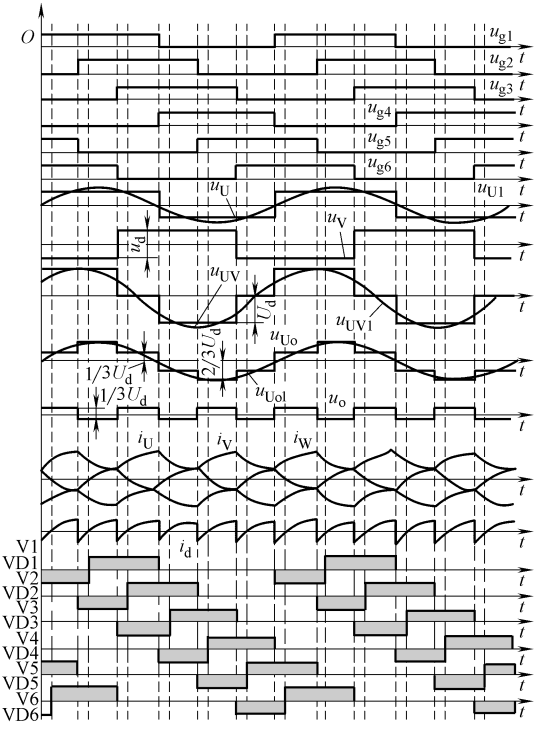
理想特性、负载 Y 联结，三相输出点 U、V、W，负载连接中性点 O，三相对称，以直流电位中性点为电压参考点。各桥臂上下驱动脉冲互补，方波占空比为 0.5，臂间驱动脉冲相位互差 120°，见图 4-113b。

（1）工作模式　电路中任一时刻只有 3 个主开关导通，分别是 2 个上管 1 个下管或 1 个上管 2 个下管。电路对称，前一种情况可能有四种工作状态：3 个主开关载流，电流从直流母线流向逆变器；2 个主开关和 1 个续流二极管载流，电流从直流母线流向逆变器；1 个主开关和 2 个续流二极管载流，电流从逆变器流向直流母线；3 个续流二极管载流，电流从逆变器流向直流母线，见图 4-114。工作状态与电路控制模式、负载特性有关，三相方波逆变接无源负载只出现三种电路状态。

（2）输出电压　相对直流电位中性点三相半桥方波逆变器的各桥臂输



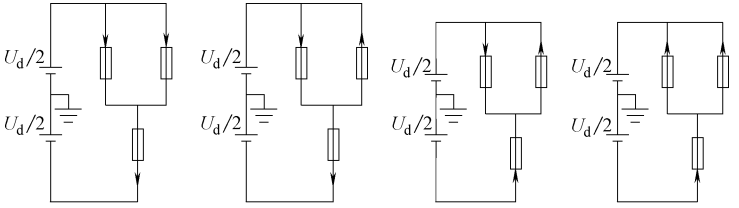
a) 三相半桥送变主电路



b) 三相半桥方波送变电路的原理波形

图 4-113　三相半桥方波逆变器主电路与基本原理波形

出为方波电压 $\pm U_d/2$；输出线电压 $\pm U_d$、0；输出相电压 $\pm U_d/3$、$\pm 2U_d$。感性负载三相方波逆变基本波形见图 4-113b。输出线电压基波幅值/有效值为相电压基波幅值/有效值的 1.732 倍，相差 30°，两者都不包含 3 倍的谐



a) 模式一　b) 模式二　c) 模式三　d) 模式四

图 4-114　三相逆变电路的不同工作模式

波，特性与一般三相系统一致。

（3）输出与输入电流　输出相电压与线电压呈台阶状周期变化。逆变电路纯电阻负载时，三相半桥电路所有功率开关中的反并联二极管全不导通，逆变器从直流母线吸取无脉动的直流电流；感性负载时，逆变器吸取直流电流外还与母线交换交流无功电流，见图 4-113b 中的 i_d，三相桥上 3 管或下 3 管中单只功率管工作且反并二极管载流时段就是无功电流向母线回馈时段。

（4）电路特点　输出电压谐波含量高，低次谐波丰富，可能影响设备运行；输出电压不可调，可在相控整流后接直-直变流器；直流电压利用率低，输出线电压基波有效值与直流母线电压之比为 0.78。

6. 三相全桥方波逆变电路

如图 4-115 所示，3 个变压器将共母线的三组全桥逆变输出组合得到三相输出，控制复杂；输出经变压器匹配组合，全桥电路可移相调压，每相电压独立可调，适应三相负载不均衡场合。

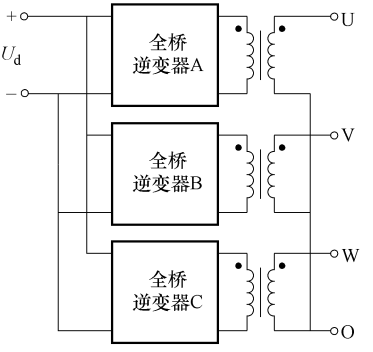


图 4-115　星形输出的三相全桥逆变器

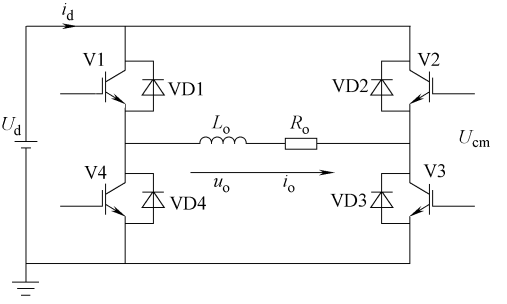
7. 正弦波脉冲宽度调制 SPWM 逆变电路

静止逆变器正弦交流输出的常用方法，通过正弦调制波与三角载波比较，控制逆变电路开关时序，主电路基本一致时，将负载谐波推向高频，滤波后得正弦波。

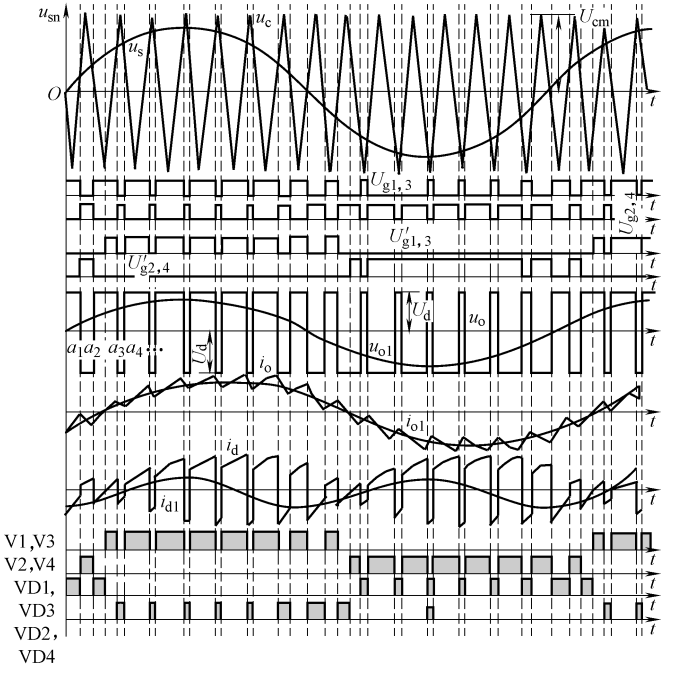
（1）单相 SPWM 逆变电路

1）双极性 SPWM 逆变电路。主电路与全桥方波逆变电路或全桥移相逆

变电路相同。SPWM 用调制波 $u_s = U_{sm}\sin\omega t$ 。载波 u_c 是峰-峰值 $2U_{cm}$、频率 f_c 的三角波。定义幅值调制比 $m_a = U_{sm}/U_{cm}$，频率调制比 $m_f = f_c/f$，全桥对角功率开关用相同控制信号。当 $u_s > u_c$，V1、V3 导通，反之 V2、V4 导通。工作基本波形见图 4-116b。极性 SPWM 模式时，换流与方波逆变类似，在



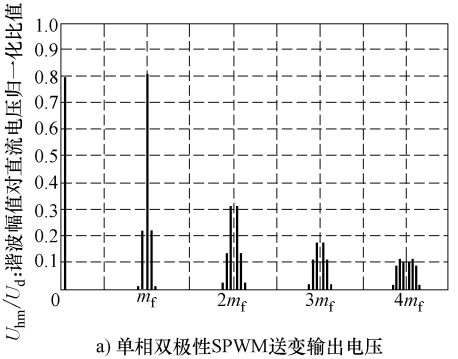
a) 全桥双极性SPWM逆变主电路



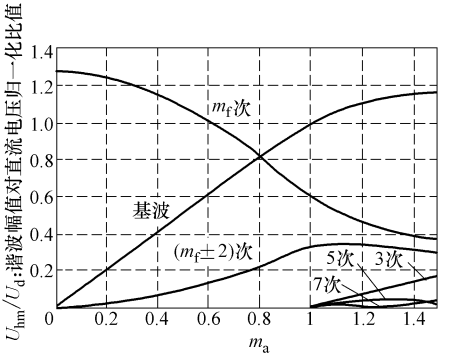
b) 双极性SPWM逆变电路基本波形

图 4-116　桥式双极性 SPWM 逆变基本原理

对角主开关载流和另一对角二极管续流两模式间强制切换，在输出电流极性变化时桥臂内自然换流。每个主电路开关周期内输出电压波形为双极性SPWM。当m_f较高时，一般是载波频率大于调制波频率，图4-117a是m_a = 0.8时单相双极性SPWM逆变输出电压频谱图，图4-117b是主要谐波随幅度调制比变化曲线。图4-116b中i_d直流电源向双极性SPWM全桥逆变器电流含直流分量、交流基波分量、开关次整数倍的高频分量，直流部分为向负载提供有功功率，其余成分为无功电流。



a) 单相双极性SPWM送变输出电压



b) 双极性SPWM谐波随幅度调制比变化

图4-117　单相双极性SPWM的输出谐波分布

该逆变电路输出电压调节方便，输出谐波性能好，但直流电压利用率低；器件开关损耗/电磁兼容问题比工频方式严重；桥臂互补工作模式时，桥臂上下管有“直通”风险。

2）单极性SPWM逆变电路。主电路结构与全桥逆变器一致。此电路每

个开关周期内逆变输出电压只有零电平和 1 个正电平或负电平，不适于半桥电路。此调制控制方式的每个主电路开关周期内输出电压在正和零、负和零间跳变，正负电平输出不同时在同一开关周期内，故称为单极性 SPWM。单极性和双极性 SPWM 输出基波电压调节性能相同。单极性 SPWM 输出包含基波成分；以开关为中心的各边带谐波。在过调制时输出电压低奇数次谐波丰富，方波输出是极端现象，见图 4-118。

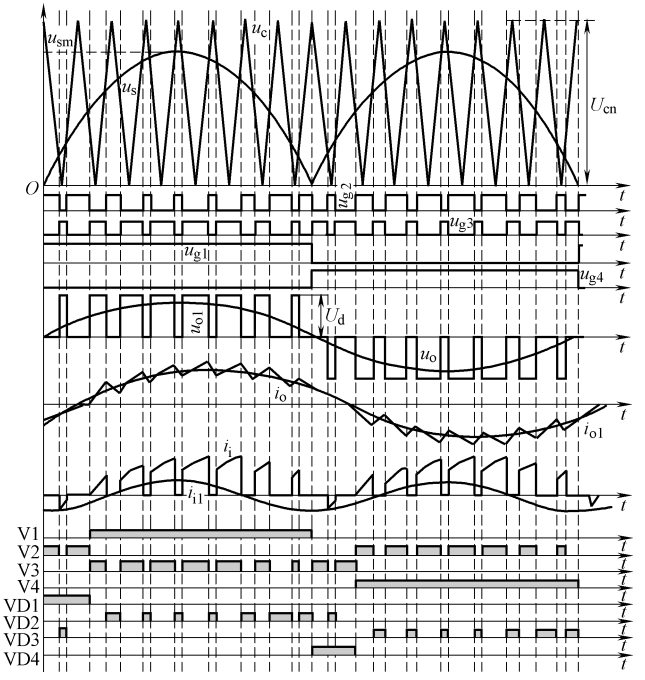


图 4-118　单极性 SPWM 逆变电路基本波形

（2）三相 SPWM　以三相半桥为例，逆变主电路结构与三相方波逆变电路相同。三相 SPWM 载波频率 f_c、幅值 U_{cm} 的三角波。调制波是三组频率 f、幅度 U_{sm}，相差 120°标准正弦波。

三组桥臂各由相应调制波与载波比较产生的互补矩形脉冲系列控制，输出电平相对母线电位中性点 $\pm U_d/2$，输出线电压是各臂输出电压之差，图 4-119 中为 $m_a=0.8$，$m_f=15$ 时自然采样法三相半桥 SPWM 逆变基本原理波形。图 4-120a 为高频率调制比的非过调三相 SPWM 规则采样法脉冲产生的

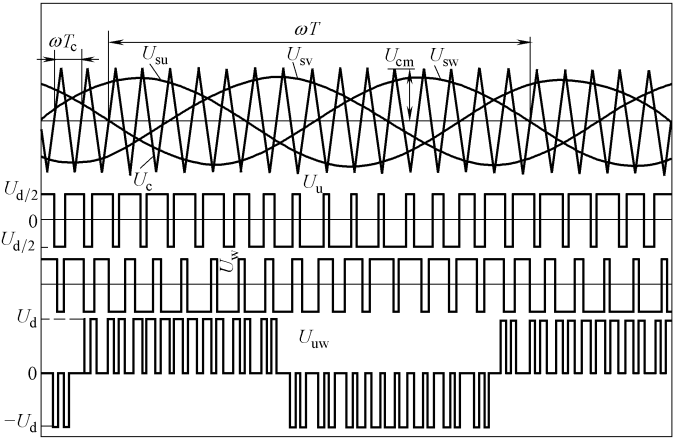


图 4-119　三相半桥 SPWM 基本原理波形

局部图，图 4-120b 为 1 个载波周期内输出桥臂电压、相电压及线电压。

三相半桥 SPWM 逆变是 3 套共直流母线半桥单相 SPWM 组合，各自用同一载波和互差 120°调制波控制输出电压。

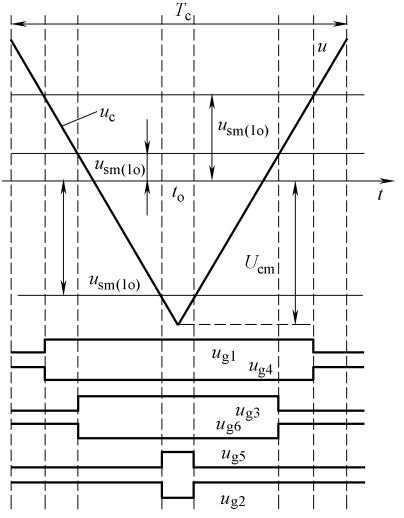
高频率调制比主电路特性对调制比具体数值不敏感，适宜选择奇数频率调制。频率调制比为 3 的整数倍可改善输出谐波性能，三相场合应使调制波以相反方向与载波交汇过零。

SPWM 输出电压最低次谐波频率接近开关频率。感性负载时逆变器除吸取直流电流外，还与母线交换交流无功电流，无功脉动电流基波频率是输出相/线电压频率的 6 倍，还包含输出电压谐波的高次谐波电流。三相半桥 SPWM 逆变输出电压谐波指标比方波逆变改善较大，输出电压可调，适合交流传动，但抗负载不均衡性能差；直流电压利用率比单相全桥 SPWM 逆变还低。

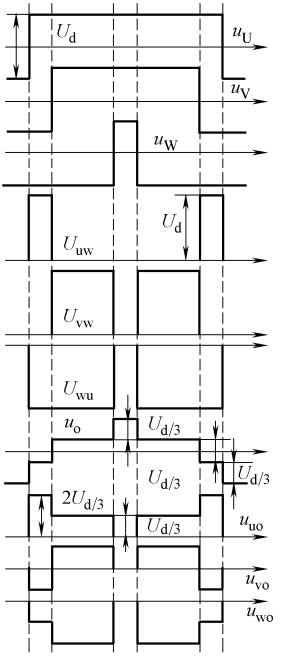
六、直流调压电路与直流斩波电路

1. 直流降压变换电路

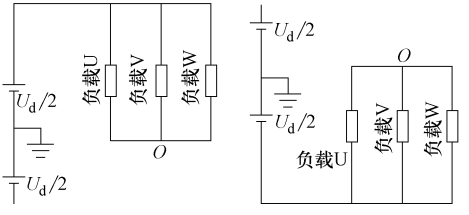
Buck 电路见图 4-121，输出电压平均值 U_o 不大于输入电压 U_d，是降压式开关变流器。它包括直流输入 U_d、开关管 VI、二极管 VD、滤波电感 L、滤波电容 C 和负载电阻 R。VI 导通时 VD 截止，电流 i_L 在 U_d 和输出电压 u_o 的压差之间逐渐增加，L 储能；VI 截止时，VD 在 u_L 和 u_o 作用下导通，流过电感电流并逐渐减小。当下一周期 VI 导通时，i_L 仍未下降至零，为电感



a) 规则采样生成三相SPWM脉冲



b) 各输出电压局部示意图



c) SPWM模式三相半桥电路多出的两种状态

图 4-120　三相 SPWM 控制脉冲、输出电压以及电路状态示意图

电流连续导通模式。下一个开关周期 VI 导通前，i_L 已下降至零，VD 截止，电感电流为断续导通模式。

电感电流连续导通模式波形见图 4-122，电感电流断续导通模式波形见图 4-123。

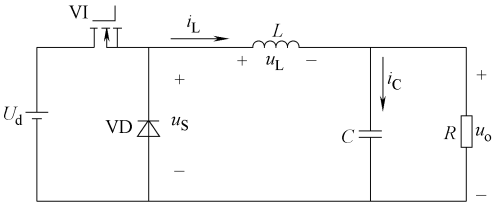


图 4-121　Buck 电路

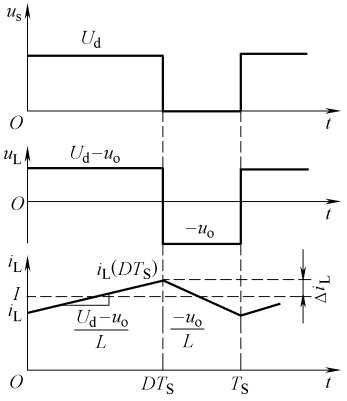


图 4-122　Buck 电路连续导通模式波形

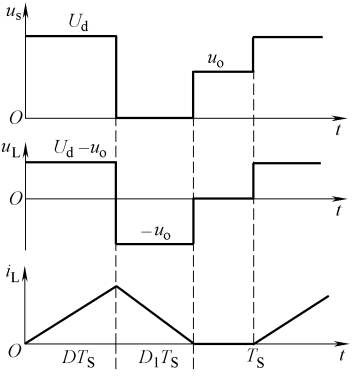


图 4-123　Buck 断续导通模式波形

2. 直流升压式变换电路

Boost 电路见图 4-124，输出电压平均值 $U_o \geqslant$ 输入电压 U_d，是升压式开关变流器。它包括直流输入电压 U_d、电感 L、VI、VD、滤波 C 和负载 R。VI 导通时，L 电流增加，L 储能，VD 截止；VI 截止时，VD 在电感电压 u_L、U_d 和输出电压 u_o 作用下导通，电流 i_L 续流，L 通过 VD 释放能量，i_L 逐渐减小。下一开关周期 VI 导通时，i_L 仍未下降至零，为电感电流连续导通模式。当下一开关周期 VI 导通前，i_L 已下降至零，VD 截止，为电感电流断续导通模式。

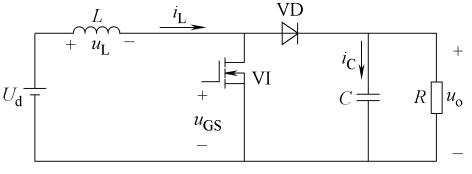


图 4-124　Boost 电路

电感电流连续导通模式波形见图 4-125，电感电流断续导通模式波形见图 4-126。

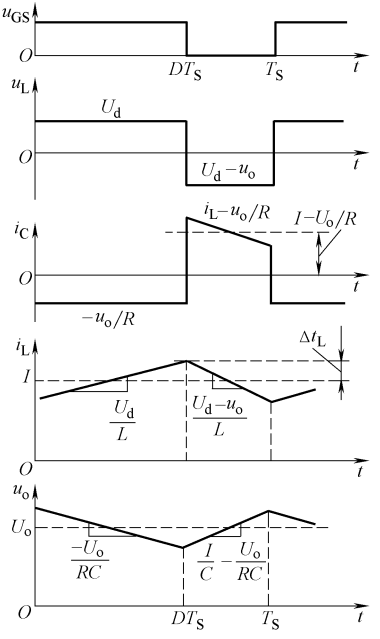


图 4-125　Boost 电路连续导通模式波形

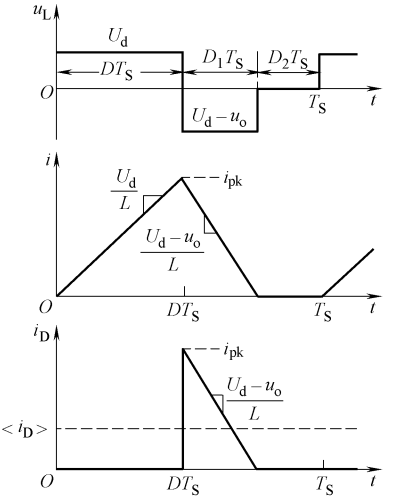


图 4-126　Boost 电路断续导通模式波形

3. 升降压式变化电路

（1）Buck-Boost 电路　如图 4-127 所示，输出电压平均值 U_o 可大于或小于输入电压 U_d，是升降压式开关变流器，同时电压极性反向。它包括直流输入电压 U_d、VI、L、VD、滤波 C 和负载 R。VI 导通时，L 的电流在 U_d 作用下增加，VD 截止；VI 截止时，VD 导通，电感电流续流，L 通过 VD 释

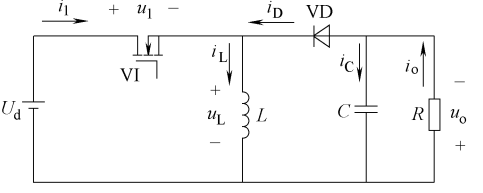


图 4-127　Buck-Boost 电路

放能量，电感电流逐渐减小。下一开关周期 VI 导通时，电感 i_L 仍未下降至零，为电感电流连续导通模式。当下一开关周期 VI 导通前，i_L 已下降至零，VD 截止，为电感电流断续导通模式。电感电流连续导通模式波形见图 4-128，电感电流断续导通模式波形见图 4-129。

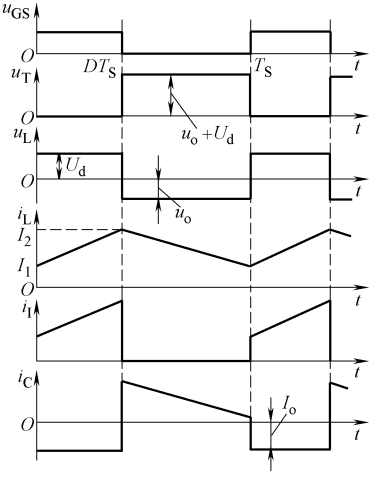


图 4-128　连续导通模式波形

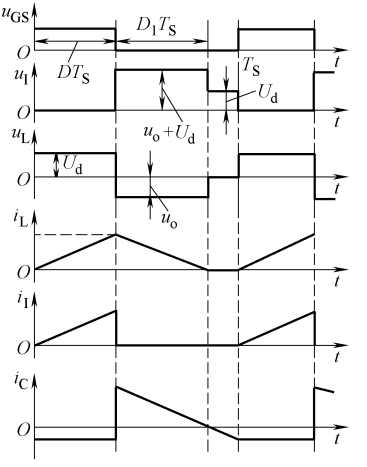


图 4-129　断续导通模式波形

（2）Cuk 电路　如图 4-130 所示，升降式开关变流器，电压极性反向。它包括直流输入 U_d、电感 L_1、开关管 VI、能量传递电容 C_1、VD、电感 L_2、滤波电容 C 和负载电阻 R。与 Buck-Boost 电路比较，Cuk 电路输入输出电流连续、输出电压脉动小、对输入电源影响小；电抗性元件多。

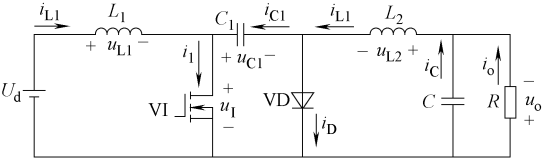


图 4-130　Cuk 电路

4. 升降压式变换电路

（1）Sepic 电路　如图 4-131 所示，VI 导通时，VD 在 C_1 和 C_2 电压下截止，输入电源 U_d 经 VI 给 L_1 充电，同时 C_1 经 VI 给 L_2 充电，L_1 和 L_2 储能。VI 截止时，U_d、L_1、C_1、VD、负载（C_2 和 R）构成回路，U_d 和 L_1 既

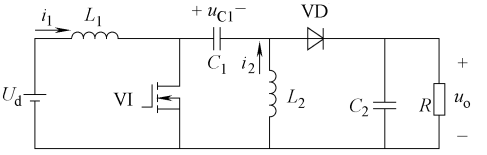


图 4-131　Sepic 电路

向负载供电，同时也给 C_1 充电，同时 L_2 经过 VD 向负载回路释放能量。

（2）Zeta 电路　如图 4-132 所示，VI 导通时，VD 在电源 U_d 和 C_1 电压下截止，U_d 经过 VI 给 L_1 储能，C_1 经 VI 放电并与输入电源一起给 L_2 充电和给负载 C_2 和 R 供电。VI 截止时，L_1 经 C_1、VD 给 C_1 充电，同时 L_2 能量经 VD 转移到负载。

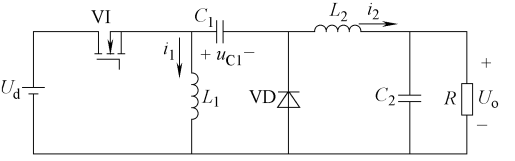


图 4-132　Zeta 电路

5. 双向直-直变换电路

如图 4-133 所示，直-直变换电路的能量流向有 2 个方向，负载产生的能量馈送给电源，在用直流电动机驱动电力机车及电动汽车中安装再生制动器等场合，能量由电源 U_d 供给负载时，VI2 断开，由 VI1 和 VD2 起降压变流器作用，i_L 方向见图 4-133。由负载侧向电源侧馈送能量时，VI1 断开，VI2 和 VD1 起升压变流器作用，电流 i_L 方向与图 4-133 相反。

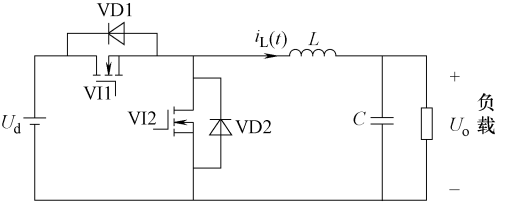


图 4-133　双向直-直变换电路

6. 正激式变流器

基于 Buck 变流器的变压器隔离型变流器。

（1）单管正激式变流器　如图 4-134 所示，需 1 个开关管，比全桥和半桥变流器功率水平低，输出电流脉动小，适合于高输出电流，波形见图

4-135。VI 导通时，VD2 导通，VD3 截止，能量通过变压器从输入到输出；VI 截止时，VD2 截止，VD3 在滤波电感 L 的电压和输出电压作用下导通，电感电流续流。单管正激式变压器中还有一个带 VD1 的绕组，在 VI 截止时 VD1 导通，电源电压作用在 N_2 绕组，将变压器励磁电感 L_M 的励磁电流 i_M 降到零，防止变压器饱和，是磁复位绕组。当励磁电流 i_M 降至零后，VD1 截止，此时仅有滤波电感 L 电流通过 VD3 续流，与 C 给 R 供电。

（2）双管正激式变流器　如图 4-136 所示，VI1、VI2 同时通断。当 VI1、VI2 导通时，VD1、VD2 截止，U_d 加到变压器一次绕组上，二次侧 VD3 导通，VD4 截止，能量从一次侧传到二次侧，供给 L、C、R，同时变压器励磁电流线性增加；VI1、VI2 关断时，在变压器励磁电流作用下，VD1、VD2 导通，为变压器励磁电流续流，在电源电压作用下励磁电流逐渐减小，同时 VD3 截止，VD4 续流导通，L 经过 VD4 给负载释放能量；当励磁电流减小至零，VD1、VD2 截止。

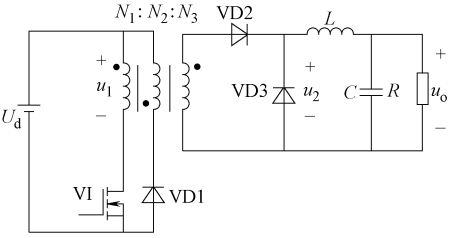


图 4-134　单管正激式变流器

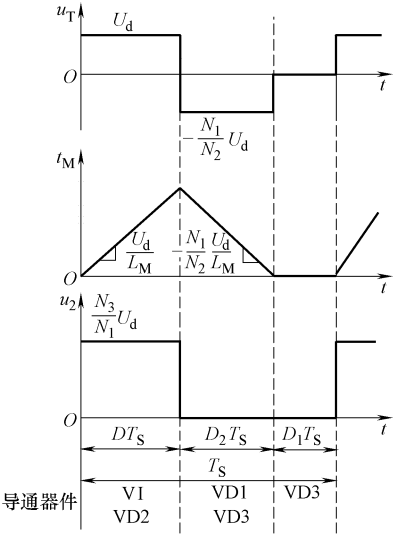


图 4-135　单管正激式变流器工作波形

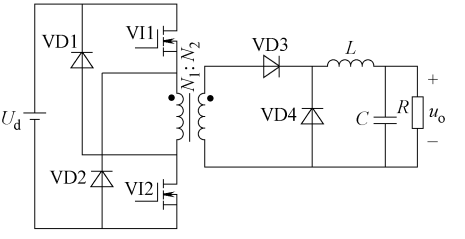


图 4-136　双管正激式变流器

7. 推挽隔离 Buck 变流器

电路见图 4-137，工作波形见图 4-138。二次电路和波形与全桥、半桥变流器相同，一次侧有 1 个中心抽头绕组。为使变流器一次绕组伏秒特性保持平衡，VI1 和 VI2 以相同占空比工作，但相差为 180°且占空比 <0.5。VI1 导通时，VD1 导通、VD2 截止；VI2 导通时，VD2 导通、VD1 截止；所有开关管截止时，VD1 和 VD2 均导通，每个二极管导通近似 1/2 时的输出滤波电感电流。在 VI1、VI2 导通时，励磁电感 L_M 的励磁电流 i_M 在电压 U_d 作用下，呈线性上升或者线性下降。

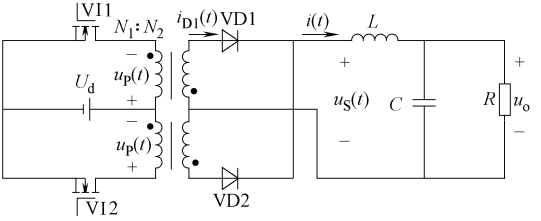


图 4-137　推挽隔离 Buck 变流器

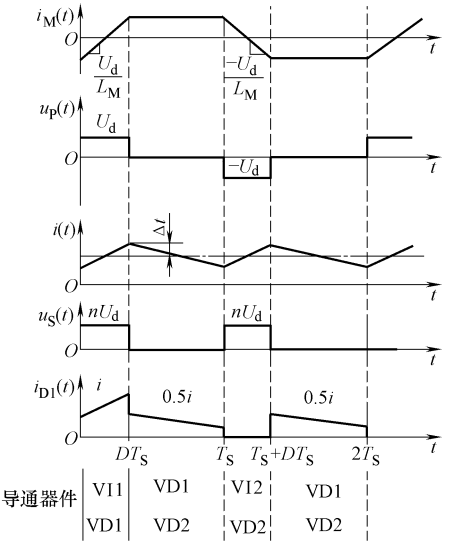


图 4-138　隔离推挽 Buck 变流器工作波形

8. 反激式变流器

实用的隔离型 Buck-Boost 变流器见图4-139。Buck-Boost 变流器中的电

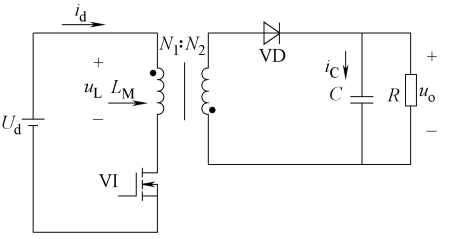


图 4-139　反激式变流器

感改用 1 个反激式变压器，构成了反激式变流器。VI 导通时，在电源作用下，变压器励磁电感 L_M 中的电流线性增加，向变压器储能，VD 截止；VI 截止时，VD 续流导通，励磁电感电压为输出电压的反射电压 N_1u_o/N_2，励磁电感能量传输至负载，励磁电感电流 i_M 线性下降。如下一周期 VI 导通时，励磁电感电流 i_M 仍未下降至零，励磁电感电流连续导通，波形见图 4-140。如下一周期 VI 导通前，励磁电感电流 i_M 已至零，则 VI 和 VD 均截止，负载由 C 维持供电，励磁电感电流不连续导通，波形见图 4-141。

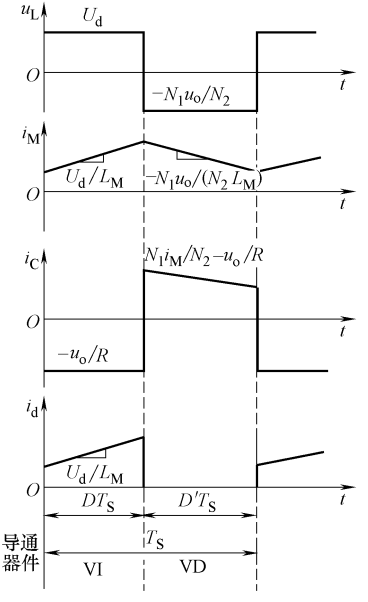


图 4-140　励磁电感电流连续导通时工作波形

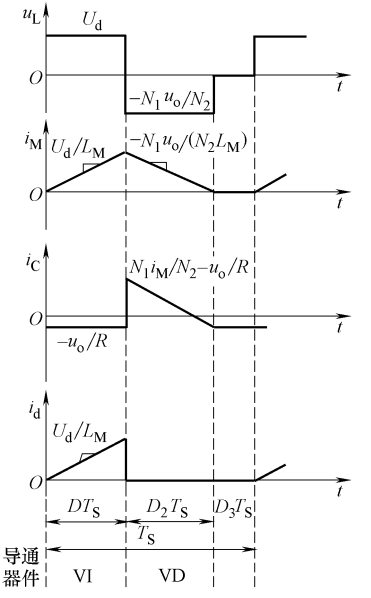


图 4-141　励磁电感电流不连续导通时工作波形

9. 全桥和半桥隔离 Buck 变流器

电路见图 4-142，工作波形见图 4-143，变压器二次绕组中心抽头的全波整流，在高输出电压时可用全桥整流。VI1 和 VI4 导通时，电源 U_d 加到变流器的一次侧，VD5 导通；VI2 和 VI3 导通时，U_d 加到变压器一次侧，VD6 导通；所有开关管截止时，变压器一次电压为零，VD5 和 VD6 导通。图 4-144 为半桥 Buck 变流器。当 VI1 和 VI2 以相同占空比工作时，根据变压器励磁电感的伏秒平衡，C_b 的直流电压等于 VI2 端压的直流成分。

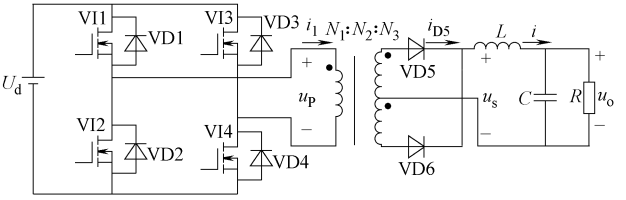


图 4-142　隔离型全桥 Buck 变流器

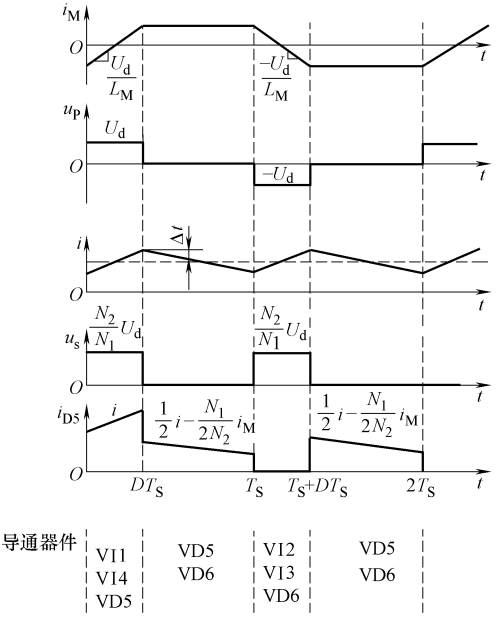


图 4-143　隔离型全桥 Buck 变流器的波形

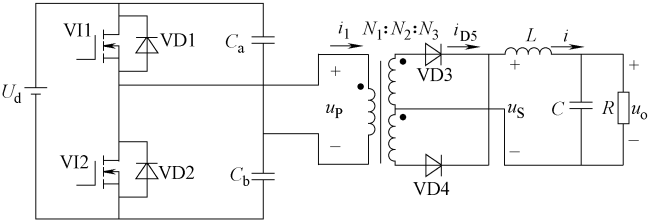


图 4-144　隔离型半桥 Buck 变流器

第二节　晶闸管控制电路

一、对触发电路的要求

1. 门极触发特性

（1）门极触发电流 I_{GT}　室温下在阳-阴极间外加 6V 或 12V 电压时，晶闸管导通所需的最小门极直流电流。

（2）门极触发电压 U_{GT}　对应于 I_{GT}的门-阴极直流电压。

（3）门极不触发电流 I_{GD}　额定结温时，当晶闸管电压为断态重复峰值电压时，保持器件不导通允许施加的最大门极直流电流。

（4）门极不触发电压 U_{GD}　对应于 I_{GD}的门-阴极之间的直流电压。

理想的门极特性要求触发电流小、触发电压低；门极不触发电流、电压相对较大，灵敏度高触发可靠。采用强触发时，要求晶闸管门极允许功耗大，能承受足够大的平均功耗 P_{GIV}、瞬时功耗 P_{GM}。

2. 门极触发要求

门极触发特性是指晶闸管导通所需的门极电流 I_{GK}和门极电压 U_{GK}。分为不触发区、不稳定触发区和可靠触发区，见图 4-145。

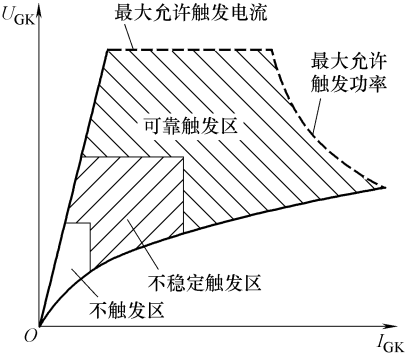


图 4-145　晶闸管的门极触发特性

（1）门极负偏压　门极相对于阴极电压为负，门-阴极间的发射结处于反向偏置，但负偏压不得超过击穿电压。负偏置门极回路对噪声、器件开关工作时阳极端产生的振荡电压、

阳极电压的 du/dt 等的抑制作用较好，使器件保持稳定可靠的阻断状态。

（2）I_{GD}和 U_{GD}　在额定结温阳极施加断态重复峰值电压时，晶闸管门极不触发电流小于门极触发电流。

3. 触发脉冲参数与技术特性

门极脉冲波形见图 4-146。采用强触发时，门极电流可以比触发阈值高 10 倍，便于多个器件串并联。实际触发是 100μs 左右的强脉冲，再紧跟数毫秒的宽脉冲。

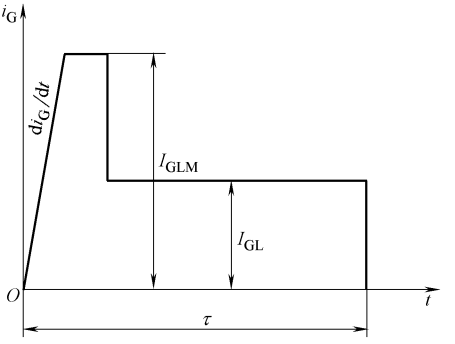


图 4-146　晶闸管门极脉冲波形

（1）门极电流上升率 di_G/dt　提高 di_G/dt 可增加晶闸管 di/dt 耐量，串并联时，较高的 di_G/dt 有利于各晶闸管导通一致。建议 $di_G/dt = 0.2 \sim 1.0A/\mu s$。

（2）脉冲幅度 I_{GLM}　强触发脉冲幅度，即 $I_{GLM} = mI_{GL}$，m 为强触发倍数，I_{GL}为正常触发电源幅度。低频或工频变流电路中，I_{GLM}宽度为 10 ~ 20μs；中高频电路中，I_{GLM}持续宽度为几个 μs。

（3）脉冲宽度 I_{GL}　在 I_{GLM}后施加幅度为 $I_{GL} = (1 \sim 2)I_{GT}$。

（4）脉宽 τ　与电路结构、换流模式、负载和控制等有关。一般 $\tau_{min} \geqslant 15\mu s$，感性负载时 $\tau \geqslant 100\mu s$，常用脉宽为 1ms，或用脉冲列触发。三相整流全控桥电路用宽裕 60°或用相隔 60°脉冲。

（5）触发信号　交流或直流脉冲，功率、幅度与陡度足够，一般要求实际脉冲电流幅度为器件最大触发电流的 3 ~ 5 倍，前沿陡度大于 1A/μs。触发电路有电隔离、同步、移相等功能。为防止误触发，触发电路不发脉冲时应保持在 0V 或 -1V 左右。

（6）晶闸管串并联触发　晶闸管并联时应同时导通，各个器件 di/dt 在允许值范围内，需要强触发脉冲时，幅值为触发电流的 3 ~ 5 倍，脉冲前沿陡度 1 ~ 2A/μs，上升沿后持续时间达 600μs。

（7）可靠性　触发电路与主电路电隔离，专门设计脉冲变压器；防止主电路对触发电路产生干扰，可采用静电屏蔽、串联二极管、并联电容、光耦合等。

4. 触发电路

按同步电压分，有正弦波同步、锯齿波同步、阻容移相桥、单结晶体管等。阻容移相桥、单结晶体管触发电路基本使用，正弦波同步受波形品质影响大，在减少使用；锯齿波同步触发电路移相控制线性好，输出脉冲对称性好，使用较多。

二、同步锯齿波触发电路

如图 4-147 所示，包括同步、锯齿波形成及脉冲移相环节；脉冲形成、放大和输出环节；双脉冲形成环节；强触发及脉冲封锁环节。

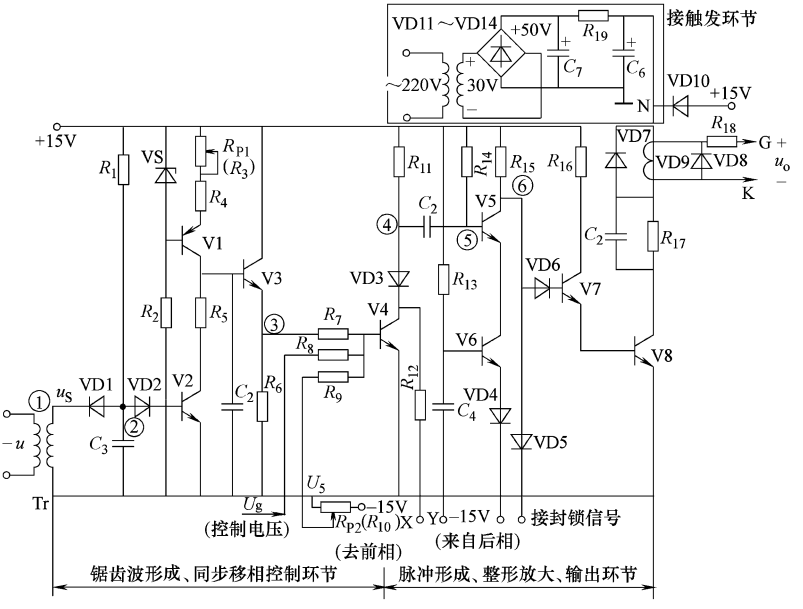


图 4-147　同步电压锯齿波触发电路

1. 同步环节

由同步变压器 Tr、V2、VD1、VD2，R_1 及 C_1 等组成。同步是锯齿波频率与主回路电源频率相同。V2 截止期间产生锯齿波，V2 截止时间即锯齿波宽度，V2 开关频率是锯齿波的频率。Tr 和整流变压器同一电源，Tr 控制 V2 通断。Tr 二次电压加 V2 基极，当负半周下降时，VD1 导通，C_1 充电，下端为参考点，图中②点为负电位，V2 截止。在负半周上升段，因 C_1 已充至负半周最大值，VD1 截止，+15V 通过 R_1 给 C_1 反向充电，当②点电位到

1.4V 时并钳在 1.4V，V2 导通。V2 截止时间为 R_1C_1。直到二次电压下一个负半周到来时 VD1 再导通，C_1 迅速放电后又被充电，V2 又截止。如此周期。在一个正弦波内，V2 截止与导通，对应锯齿波是一个周期，与主电路电源频率同步。

2. 锯齿波形成及脉冲移相环节

由 V1 组成恒流源向 C_2 充电，V2 作同步开关控制恒流源对 C_2 充放电。V3 为射极跟随器。V2 截止时，由 V1、VS、R_3、R_4 组成的恒流源以恒流 I_{C1} 对 C_2 充电，C_2 两端的 u_{C2} 为

$$u_{c2} = \frac{1}{C_2}\int I_{C1}\,\mathrm{d}t = \frac{I_{C1}}{C_2}t \qquad (4\text{-}71)$$

u_{C2} 与 t 呈线性关系，斜率为 I_{C1}/C_2，调节 R_3 改变 I_{C1} 即锯齿波的斜率。V2 导通时，因 R_5 小，C_2 经 R_5、V2 迅速放电到零。只要 V2 周期断通，C_2 得到线性锯齿波电压。为减少锯齿波电压与控制电压 U_c、偏移电压 U_b 间的影响，锯齿波电压 u_{C2} 经射极跟随器输出。锯齿波电压 u_{e3} 与 U_c、U_b 并联叠加，由 R_7、R_8、R_9 与 V4 基极相接。V3 基极电位是锯齿波电压 u_{e3}、控制电压 U_c(+)和偏移电压 U_b(−)叠加。当叠加电压 $u_{b4}<0$ 时，V4 截止；合成电压 u_{b4} 由负→正时，V4 由截止→饱和导通，u_{b4} 钳位在 0.7V。

锯齿波触发电路各点电压波形见图 4-148。电路工作时负偏移电压 U_b 调到某值固定，改变控制电压 U_c 可改变 u_{b4} 的波形与横坐标的交点，改变 V4 导通时刻即移相。设置 U_b 是使 U_c 为

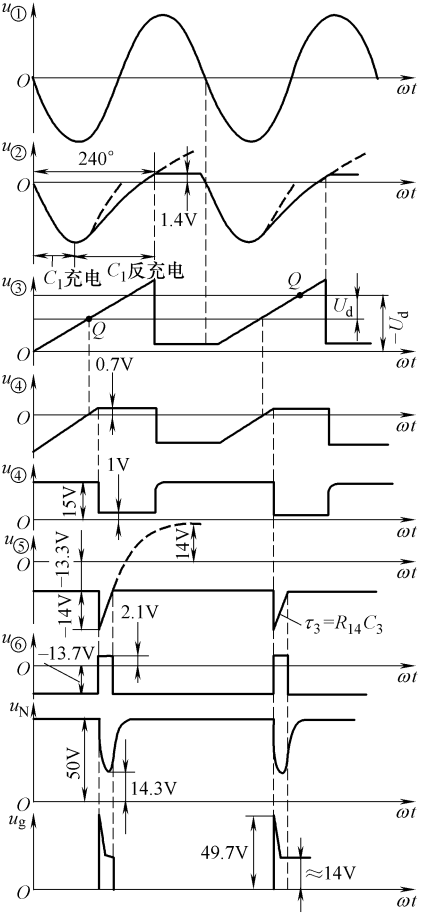


图 4-148　锯齿波触发电压波形

正，从小到大单极调节。一般设 $U_c=0$ 时 α 为最大值，U_c 升高，则 α 降低。

3. 脉冲形成、放大和输出环节

如图 4-147 所示，脉冲环节由 V4、V5、V6 组成；放大和输出由 V7、V8 组成；同步移相电压加在 V4 基极，触发脉冲由脉冲变压器输出。

4. 双脉冲形成环节

三相桥式全控整流电路要求双脉冲，脉冲间隔 60°。

5. 强触发及脉冲封锁环节

晶闸管串并联或桥式全控整流电路中，需要用强脉冲触发。同步电压锯齿波触发电路，抗干扰能力强，电网电压波动与波形畸变影响小，移相范围宽。但整流装置输出电压 u_b 与控制电压 U_c 无线性关系。常用此电路触发电路大中容量的晶闸管。

6. 强触发脉冲触发电路

如图 4-149 所示，常用于三相桥式电路，脉冲变压器实现电隔离，V3 实现功率放大。控制端 S 高电平时，V1 导通，V2、V3 截止，脉冲变压器两端电压 u_o 为零；S 低电平时，V1 截止，V2、V3 饱和导通。C_1 沿变压器 T 和 C_2、V3 释放，u_o 迅速达到最大值 50V。随后 $u_c\downarrow\rightarrow u_R\uparrow$，至 $t=\tau_1$ 时，$u_C=15$V，u_C 继续下降，VD1 导通，P 点电位钳在 15V。然后 u_o 随 U_R 上升继续下降，并趋于稳态 u_{om2}。至 $t=\tau_2$ 时，$u_i>0$，V3 重新截至，T 中磁能沿 VD3、R_5 释放，C_2 电能沿 R_4 释放，C_1 沿 R_1E_2 充电，时间常数 R_1C_1，u_C 上升至 15V 后 VD1 截止，R_1C_1 数值应选使强脉冲的宽度 T_1 和 C_1 在 V3 再次导通前已被充电到 E_2。

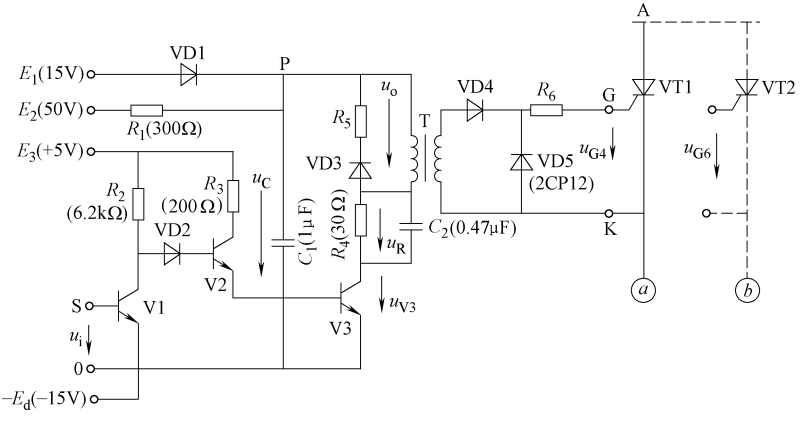


图 4-149　强触发晶闸管门极触发电路

三、集成触发电路

1. 单相移相触发集成电路 KC04

该集成电路广泛用于晶闸管控制系统，单相移相触发，引脚见图 4-150，内部电路见图 4-151，典型应用见图 4-152，主要引脚波形见图 4-153。引脚名称、功能和用法见表 4-20。

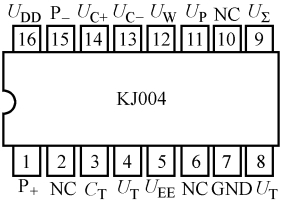


图 4-150　KC04 引脚

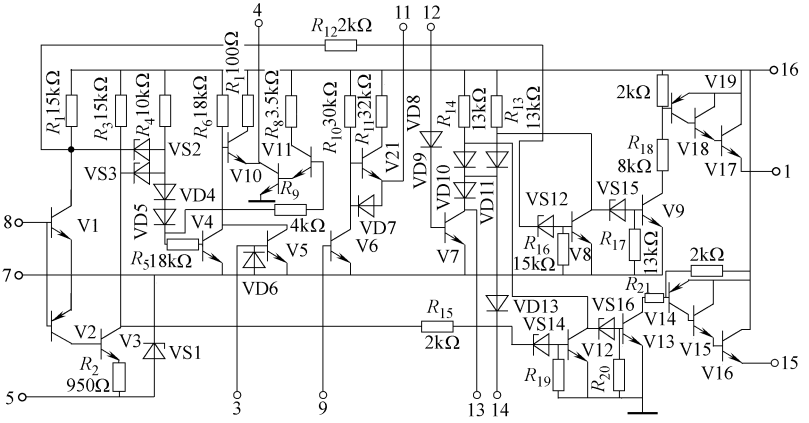


图 4-151　KC04 内部电路

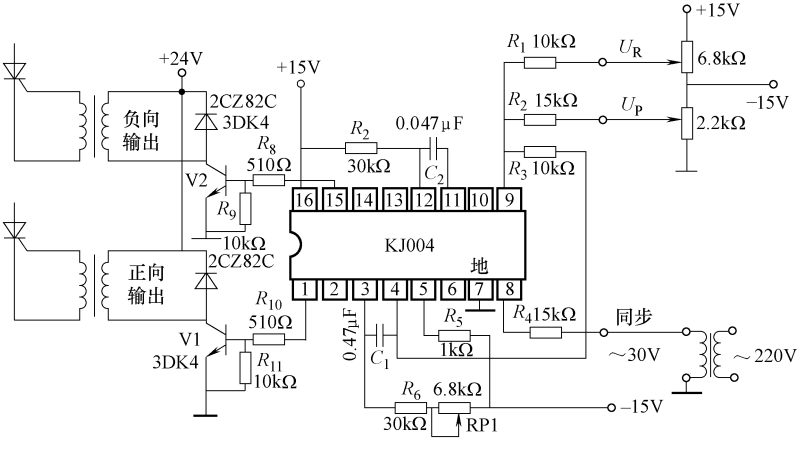


图 4-152　KC04 典型应用

（1）主要特点　输出两路相差 180°的移相脉冲，可方便构成晶闸管单相全桥控制触发电路；输出负载能力大，移相好；正负半周脉冲相应均衡性好；移相范围宽；对同步电压要求低；可脉冲序列调制输出。

（2）主要参数　工作电压为 ±15V；同步输入允许最大电流为 6mA；输出脉宽为 400μs ~ 2ms；最大负载能力为 100mA。

（3）典型应用　引脚 8 与同步电源电压 U_T 之间串联的电阻 R_4（Ω），经验计算 $R_4 = (U_T/(2 \sim 3)) \times 10^3$。

典型应用见图 4-152，锯齿波斜率由引脚 3 的外接电阻 R_6、RP1 及引脚 3 与 4 间的 C_1 决定，R_6、RP1 决定给 C_1 的充电电流，对应移相控制电压 U_K，改变 R_1、R_2 的比例，调整相应的偏移电压 U_P，即可控制移相。KC04 移相控制电压增加，输出脉冲的触发延迟角 α 减小，被触发晶闸管的导通角增加。R_7、C_2 构成微分电路，改变 R_7、C_2 可改变脉宽，随输入同步电压与引脚 8 之间 R_4 的改变，同步电压值可任意改变。正常工作波形见图 4-153。

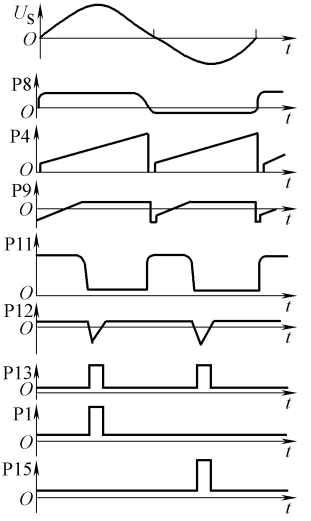


图 4-153　KC04 主要引脚波形

KC04 一般用于控制单相小功率负载，如调光台灯等。三块 KC04 组成可控制三相负载，但在输出电压的低 1/3 范围很不稳定，基本无法工作。

表 4-20　KC04 引脚名称、功能和用法

引脚号	符号	名　　称	功能或用法
1	P +	同相脉冲输出端	该端输入对应同步电压正半周与控制电压 U_K 相位相适应的触发脉冲，接正半周导通晶闸管的脉冲功率放大器及脉冲变压器
2	NC	空端	使用中悬空
3	C_T	锯齿波电容连接端 1	通过电容接引脚 4
4	U_T	锯齿波电容连接端 2	使用中作为同步锯齿波电压输入端，则通过一电容接引脚 3，同时通过一电阻接移相电压综合端（引脚 9）

（续）

引脚号	符号	名　　称	功能或用法
5	U_{EE}	工作负电源输入端	接用户为本集成块工作提供的负电源
6	NC	空端	使用中悬空
7	GND	参考地端	为整个集成电路的工作提供一参考地，使用中接用户的控制电源地端
8	U_T	同步电压信号输入端	使用中，通过一个电阻接用户同步变压器的二次侧，同步电压为30V
9	U_Σ	移相、偏置及同步信号综合端	使用中，分别通过三个等值电阻接锯齿波输出端（引脚4）、外接偏置电压调节电位器中间滑动端及移相电压
10	N_C	空端	使用中悬空
11	U_P	方波脉冲输入端	该端的输入信号反映了移相脉冲的相位，使用中通过一电容接引脚12，对需要采集移相脉冲信号同步的控制系统接用户取样电路输入端
12	U_W	脉宽信号输入端	该端与引脚11所接电容的大小反映了输入脉冲的宽度，使用中分别通过一电阻和电容接正电源与引脚11
13	U_{C-}	对应同步电压负半周的脉冲调制及封锁控制端	通过该端输入信号的不同，可对对应同步电压负半周的输出脉冲调制或封锁，使用中接调制脉冲源输出或保护电路输出
14	U_{C+}	对应同步电压正半周的脉冲调制及封锁控制端	通过该端输入信号的不同，可对对应同步电压正半周的输出脉冲调制或封锁，使用中接调制脉冲源输出或保护电路输出
15	P－	对应同步电压负半周的出发脉冲输出端	接对应同步电压负半周的应导通晶闸管的脉冲功率放大器及脉冲变压器
16	U_{DD}	系统工作正电源输入端	使用中接用户给该集成电路提供的工作电源

2. 移相触发集成电路 TCA785

它属于西门子第三代产品，内部结构见图4-154，由零点鉴别器、同步寄存器、控制比较器、放电监控器、电平转换及稳压器、锯齿波发生器及输出逻辑网络等组成。图4-155为主要输入、输出引脚的电压波形。

（1）引脚功能

① 引脚16（U_{SD}）：工作电源，使用中直接接用户提供的电源正端。

② 引脚1（GND）：工作参考地端，与直流电源 U_{DD}、同步电压 U_T 及移相控制信号 U_K 的地端接连。

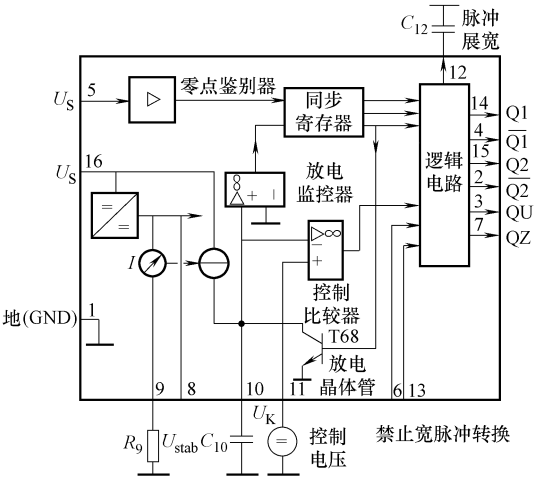


图 4-154　TCA785 内部结构框图

③ 引脚 4、2：输出脉冲 1、2 的非端，输出宽度变化的脉冲信号相位差 180°，两路脉冲宽度均受非脉冲宽度控制端引脚 13 控制。高电平最高幅值 U_{DD}，最大负载电流 10mA。该两端输出在系统中不用时允许开路。

④ 引脚 14、15：输出脉冲 1、2 端，可输出跨度随引脚 12 所接电容变化的脉冲，相位差 180°，脉冲宽度受脉冲控制端 12 的控制。

⑤ 引脚 13：非输出脉冲宽度控制端，允许施加电压 0.5V ~ U_{DD}，该端接地时，引脚 4、2 宽脉冲输出，该端接电源电压 U_{DD} 时，引脚 4、2 最窄脉冲输出。

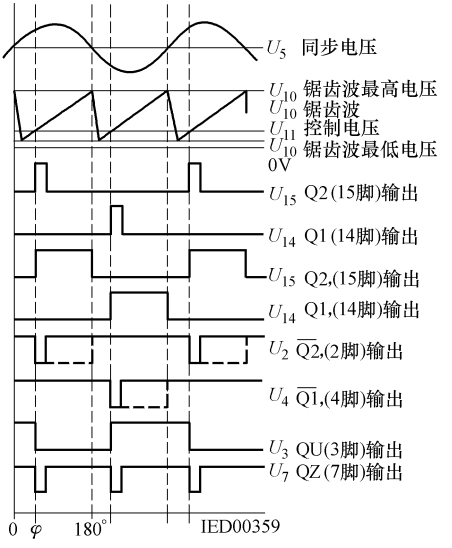


图 4-155　TCA785 引脚电压波形

⑥ 引脚 12（C_{12}）：输出脉冲 1、2 宽度控制端，通过电容接地，C_{12}取 150pF ~ 0.01μF，当 C_{12}变化时，输出脉冲宽度也变化，脉冲 100 ~ 2000μs。

⑦ 引脚 11（U_K）：输出脉冲 1、2 或其非的移相控制直流电压输入端。通过输入电阻接用户控制电路输出，当 TCA785 工作于 50Hz，且工作电源 $U_{DD}=15V$ 时，该电阻典型值 $=15k\Omega$，移相控制电压 $U_K=0.2\sim(U_{DD}-2)V$。为抗干扰，引脚 11 通过 0.1μF 接地，通过 2.2μF 的电容接电源 U_{DD}。

⑧ 引脚 10（C_{10}）：外接锯齿波电容连接端，C_{10}取 500pF ~ 1μF，电容充电电流 10μA ~ 1mA，受接于引脚 9 与参考地端间的 R_9 控制，U_K 两端锯齿波峰值 $U_{DD}-2V$，典型后沿下降时间 80μs。

⑨ 引脚 9（R_9）：锯齿波电容充电电流设定电阻连接端，R_9 决定 C_{10}的充电电流，接于引脚 9 的电阻也决定了引脚 10 锯齿波电压幅值，$R_9=3\sim300k\Omega$。

⑩ 引脚 8（U_{REF}）：TCA785 自身输出的高稳定基准电压端，$U_{REF}=2.8\sim3.4V$，当 TCA785 的工作电压 15V、输出脉冲频率 50Hz 时，U_{REF}典型值 3.1V，如实际应用中不需要 U_{REF}，可开路。

⑪ 引脚 7（QZ）和 3（PU）：两个逻辑脉冲信号端，高电位脉冲幅值（$U_{DD}\sim2$）V，此时最大负载电流 10mA。QZ 为窄脉冲，频率是输出脉冲 2 或 1 的 2 倍，PV 为宽脉冲信号，宽度为移相控制角 $\varphi+180°$，与脉冲 1、2 及其非同步，频率与脉冲 1、2 及其非相同。该两个逻辑脉冲信号给用户作同步信号，不用时可开路。

⑫ 引脚 6（Lock）：脉冲信号封锁端，封锁脉冲 1、2 及其非的输出脉冲，通过 10kΩ 接地端或接正电源，电压 $-0.5V\sim U_{DD}$，当该端通过电阻接地、电压 $<2.5V$ 时，输出脉冲被封锁；当该端通过电阻接正电源且该端电压大于 4V 时，不起封锁作用。

⑬ 引脚 5（U_T）：同步变压器输入端，需对地端接 2 个正反并联的限幅二极管。接电阻 200kΩ 时，同步变压器可直接接交流 220V。

（2）主要特点

① 对同步交流电源的过零点识别可靠，用作过零触发，构成过零开关。

② 应用范围宽，可触发普通、快速和双向晶闸管，作功率晶体管的控制脉冲，可组成单管斩波、单相半波、半空桥、全控桥或三相半控、全控整流电路、单相或三相逆变或其他拓扑结构电路的变流系统。

③ 负载能力强，每路可直接输出 250mA。

④ 自身锯齿波电压范围宽，温度 $-25\sim+85℃$，工作电源电压范围宽。

（3）主要参数　电源电压 $+8\sim18V$ 或 $\pm(4\sim9)V$；移相控制电压 U_K 范围 $0.2\sim(U_{DD}-2)V$；输出脉冲宽 180°；工作频率 $10\sim500H_Z$；高电平脉冲负载电流 400mA，低电平允许最大灌电流 250mA；输出脉冲高、低电平幅值

U_{DD}、0.25V；同步电压可随限流电阻取任意值。

（4）典型应用　图 4-156 为 TCA785 触发 2 个反向并联晶闸管调压电路，图 4-157 用于单相半控整流电路。

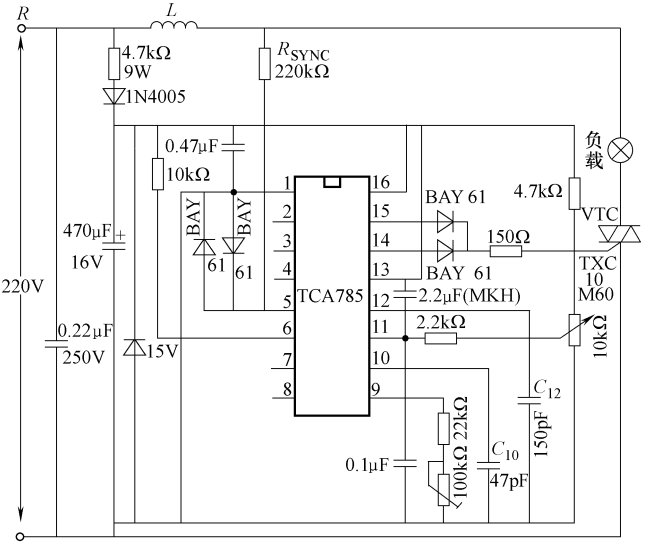


图 4-156　触发 2 个反并联连接晶闸管

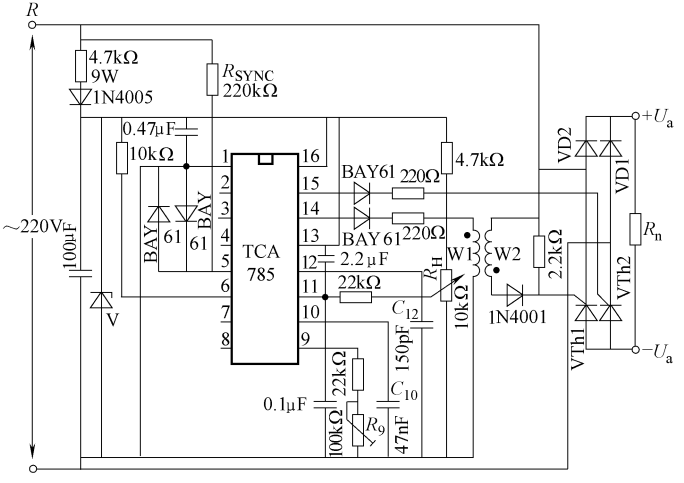


图 4-157　单相半控整流电路

3. 三相移相触发集成电路 TC787

高性能晶闸管三相移相触发集成电路，可单或双电源工作，移相范围宽，外接元器件少，用于三相半控、三相全控、三相过零等移相触发，可取代 TCA785、KJ004、KJ009、KJ041、KJ042 等同类电路。图 4-158、图4-159 为引脚和内部电路框图。

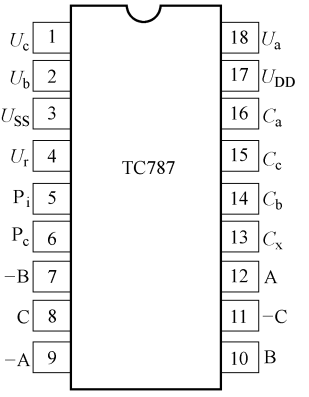


图 4-158　TC787 引脚

（1）主要特点

① 输出三相触发脉冲触发移相角 0° ~ 180°连续可调，零点识别可靠，有过电压、过电流保护。

② 适用频率范围宽，A 型工频，B 型中频 100 ~ 400H_Z，脉冲列输出，适用于感性电路。

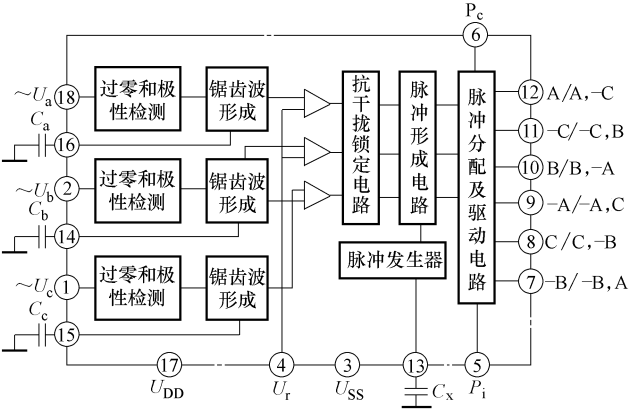


图 4-159　TC787 内部电路框图

③ 6 脚高低电平，可改变输出为双或单脉冲列。

（2）引脚功能

1）同步输入端：引脚 1（U_c）、引脚 2（U_b）、引脚 18（U_a）为三相同步输入电压端，峰值不超 TCA787 的工作电源电压 U_{DD}，最低电压大于 0。

2）脉冲输出端：半控单脉冲工作模式下引脚 8、引脚 10、引脚 12 是三相同步电压正半周对应的同相触发脉冲输出端，引脚 7、引脚 9、引脚 11 分别为三相同步电压负半周对应的同相触发脉冲输出端。

当 TC787 全双窄脉冲方式时，引脚 8 为与三相同步电压 C 相正半周及 B 相负半周对应的两个触发脉冲输出端；引脚 12 为与三相同步电压 A 相正半周及 C 相负半周对应的两个触发脉冲输出端；引脚 11 为与三相同步电压 C 相负半周及 B 相正半周对应的两个触发脉冲输出端；引脚 9 为与三同步电压 A 相负半周及 C 相正半周对应的两个触发脉冲输出端；引脚 7 为与三同步电压 B 相负半周及 A 相正半周对应的两个触发脉冲输出端；引脚 10 为与三同步电压 B 相正半周及 A 相正半周对应的两个触发脉冲输出端，使用时均要接脉冲变压器的开关晶体管或 MOSFET 的基极。

3）控制端：

① 引脚 5：输出脉冲封锁端，故障时封锁 TC787 输出，高电平有效。

② 引脚 14、15、16：对应三相同步变压器的锯齿波电容连接端，该端电容值决定锯齿波的斜率与幅值，实际时分别通过 1 个相同容量（0.1μF）的电容接芯片工作参考地。

③ 引脚 6：工作方式设置端，高电平时 TC787 输出双脉冲列，低电平时输出单脉冲列。

④ 引脚 4：移相控制输入端，该端电压决定 TC787 输出脉冲的移相范围，使用时接给定环节输出，电压幅值最大 U_{DD}。

⑤ 引脚 13：连接电容 C_X，C_X 决定 TC787 输出脉冲宽度，电容值大则脉冲宽。

4）电源：单电源时引脚 3 接地，引脚 17（U_{DD}）电压 +8 ~ +18V；双电源时，引脚 3 接负电源，电压 −9 ~ −8V，引脚 17 接正电源电压 +8 ~ +9V。

（3）主要参数　工作电源电压 U_{DD} 取值 +8 ~ +18V（或 ±4 ~ ±9V）；输入同步电压有效值 $U_T \leqslant (1/2\sqrt{2})U_{DD}$；输入控制信号电压为 0 ~ U_{DD}；输出脉冲高电平电流不大于 20mA；锯齿波电容为 0.1 ~ 0.15μF；脉冲宽度电容为 3300pF ~ 0.01μF，移相为 0 ~ 177°。

图 4-160 为单电源典型接线；图 4-161 为应用电平匹配网络的接线，图中直接将同步变压器的中性点接 1/2 电源电压；图 4-162 为双电源典型接线。

（4）注意事项

1）同步变压器特性符合要求，三相输入对称，一般采用 Yd11 接法，同步变压器输出每相对中心线 30V，相与相电压 51V。

2）电源变压器输出 18V。

3）脉冲变压器输出接晶闸管门极，必须考虑脉冲变压器的耐压。

4）脉冲变压器的输出接晶闸管门极间的限流电阻适当，电阻太大，晶

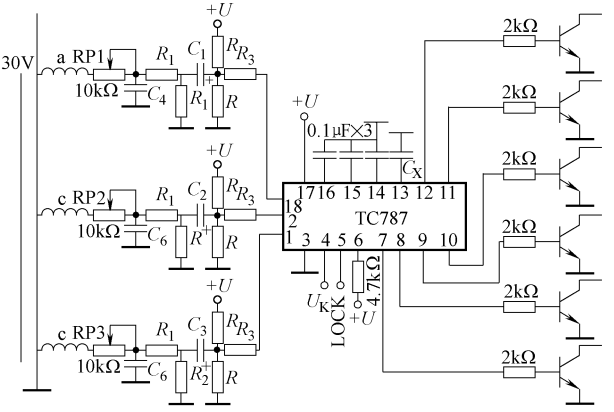


图 4-160　TC787 单电源典型接线

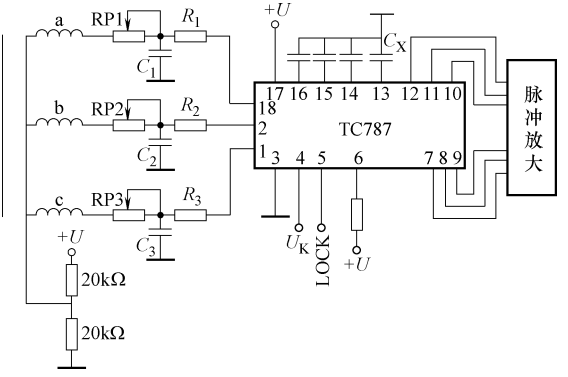


图 4-161　双电源工作典型电路

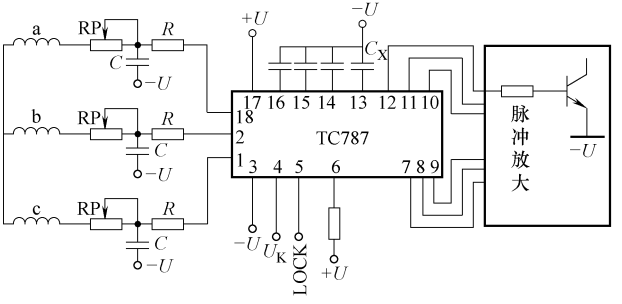


图 4-162　TC787 双电源典型接线

闸管不能可靠触发。

5）脉冲变压器输出电流要对称，不平衡率在额定电流的5%左右。

6）为减小体积，可将电源变压器与同步变压器合并绕制成1台变压器，但不建议。

7）主回路是380V、660V、1140V或其他电压等级回路中，只要将电源变压器、同步变压器输入电压等级调整即可，但必须考虑考虑印制电路格和脉冲变压器的耐压。对于660V、1140V的主电路，应考虑晶闸管的散热。

8）整流电路主电路如660V、1140V，而要求整流输出电压较低时，必须综合考虑晶闸管工作特性，导通角太小，晶闸管长期工作可能不安全，建议用其他的控制方式。

4. KC168 触发器

模拟数字混合型智能单向数字化移相触发集成电路，单电源工作，用于单相或三相晶闸管移相变流器。可取代TCA785、KJ004、KJ005、KJ006、KJ007、KJ008、KJ009、KJ010、KJ011及KC04、KC05、KC06、KC07、KC08，用于晶闸管移相触发控制，与TCA785、KC或KJ系列相比，功耗小、功能强、干扰性能好、移相范围宽、外接元器件少、内部全数字电路、精度高。引脚见图4-163，内部结构框图见图4-164。

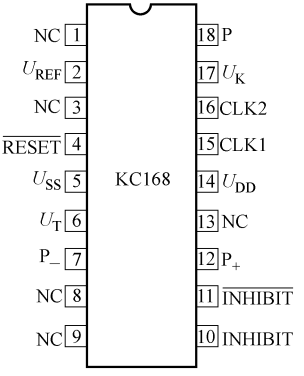


图4-163　KC168引脚

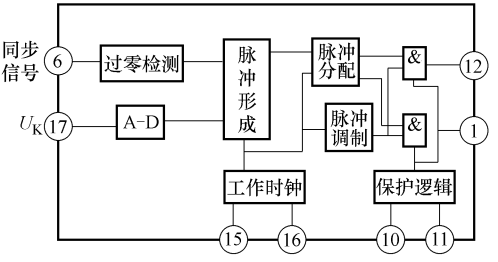


图4-164　KC168内部结构框图

（1）引脚功能　见表4-21。

（2）主要特点

1）内部全数字运算，精度高；调制式脉冲输出；有独立封锁端；对同步要求低；抗干扰能力强。

表 4-21　KC168 触发器的引脚、功能与用法

引脚号	符号	名称	功能与用法
1、3、8、9、13	NC	空脚	使用时悬空
2	U_{REF}	内部 A-D 转换器参考电压输入端	通过电阻接 +5V 电源 U_{DD}端(引脚 14)
4	$\overline{RESET}$	复位端	KC168 从初始状态开始运行,用于上电复位,接电阻与电容串联的中间点,电容另一端接 U_{SS}(引脚 5),电阻的另一端接 U_{DD}端(引脚 14)
5	U_{SS}	工作参考端	使用时接控制电源地
6	U_T	同步信号输入端	接整形后的同步信号
7	P_-	对应同步信号负半周的脉冲输出端	经脉冲功放环节后接负半周晶闸管的门-阴极
10	INHIBIT	保护信号的高电平封锁脉冲端	直接接保护电路输出,保护信号高电屏有效,此时将引脚 11 接 U_{DD}(+5V)
11	$\overline{INHIBIT}$	保护信号的低电平封锁脉冲端	直接接保护电路输出,保护信号低电屏有效,此时将引脚 10 接 U_{SS}(地)
12	P_+	对应同步信号正半周的脉冲输出端	经脉冲功放环节后接正半周晶闸管的门-阴极
14	U_{DD}	工作电源输入端	接用户为 KC168 工作提供的 +5V 电源
15、16	CLK1、CLK2	晶振连接端	两端接频率为 4 ~ 12Hz 的晶振
17	U_K	移相控制电压输入端	接移相控制电压输入,开环调节时为给定积分器输出或给定定位器重点,闭环调节时为调节器的输出
18	P	“或”脉冲输出端	该输出 P_+ 与 P_- 相“或”后的脉冲,当 KC168 用于双向晶闸管的脉冲输出,经功放隔离后接双向晶闸管的门极-阴极

2）工作电压 5V ±0.5V；输入移相 $U_K = 0 \sim 5V$；参考 $U_{REF} = 5V$；同步信号高电平 5V、低电平 0V；封锁高电平信号 5V、封锁低电平信号 0V；同步信号频率 0.05 ~ 10kHz，复位信号 0V；各引脚允许拉、灌电流最大值 20mA。图 4-165 为 KC168 控制触发晶闸管单相整流电路，图 4-166 为主要引脚工作波形。

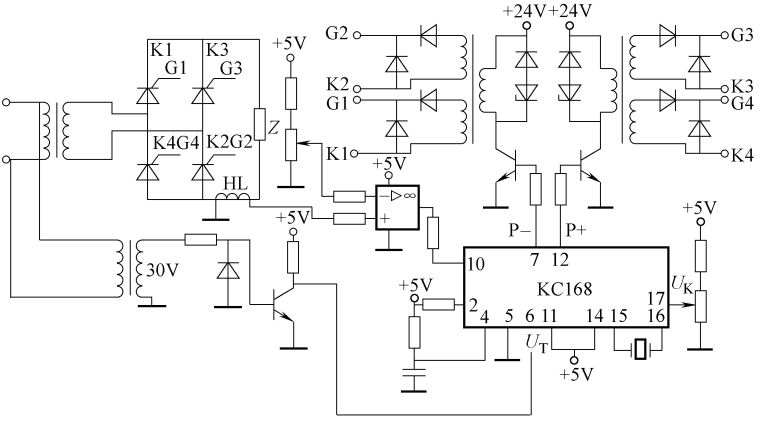


图 4-165　KC168 控制触发晶闸管单相整流电路

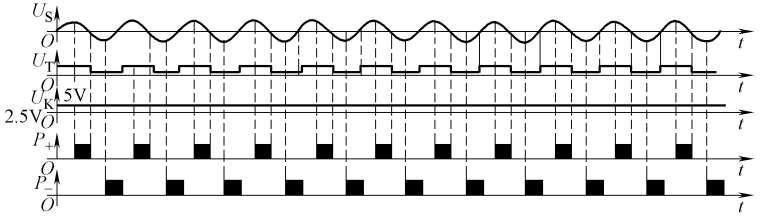


图 4-166　KC168 主要引脚工作波形

5. K188 智能型单片全数字三相触发集成电路

（1）主要特点

1）智能化和精度高。

2）自适应能力强，使用时不需要考虑相序；输出 6 路相位严格互差 60°的双窄调制脉冲列，双窄调制脉冲列的每个宽度为 18°，频率为 10kHz。

3）外部有故障保护功能，故障时封锁输出脉冲。

4）能在同步电压断相或三相严重不平衡时保护。

5）不需外接锯齿波电容，外围电路简洁。

（2）主要参数　输出脉冲驱动 20mA；工作电源电压 $U_{DD}=3.0\sim6.0V$；工作时电源提供电流小于 2mA；移相大于 175°；输入同步电压为方波、高电平大于 $2U_{DD}/3$，低电平小于 $U_{DD}/3$；外部故障保护，高电平有效，电平电压大于 $2U_{DD}/3$；外配晶体振荡频率为 2～3MHz。

（3）注意事项

① 复位电路。低平复位，可通电时或人工随时复位。

② 同步电压。同步电压为方波，需要将用户的三相交流电压转化为方波。

③ 输出功放隔离环节。一般功放环节用晶体管放大、脉冲变压器隔离，因 KC188 输出为调制脉冲列，且脉冲上升、下降沿较陡，为保证快速性，建议脉冲功放用功率 MOSFET，选用非晶材料或铁氧体为铁心的高频脉冲变压器。

四、IGBT 控制电路

1. 控制要求

（1）门极正反向驱动电压 U_{GS}（或 U_{GE}）合理　门极电压高于阈值时，器件即能开通。门极驱动电压高，IGBT 承受短路电流时间短。一般正偏压不大于 +20V。关断时门极加 −15 ~ −5V。对 IGBT，正向驱动 $+U_{GE}$ 和反向驱动 $-U_{GE}$ 对开关特性及负载短路能力有直接影响。如图 4-167 所示，U_{GE} 增加时，导通压降将下降，开通损耗 E_{on} 也下降。

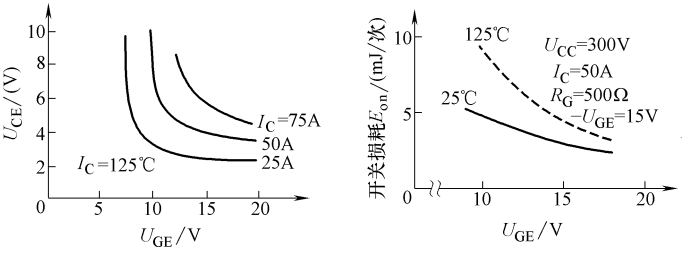


图 4-167　正向 U_{GE} 与导通压降 U_C 及开通损耗 E_{on} 的关系

（2）门极电阻 R_G 合适　R_G 控制门极驱动电压前后沿陡度，控制 IGBT 通断速度。R_G 增大，驱动电压前后沿变缓，开关损耗增加；R_G 减小，门极驱动电压变陡，通断过程中电流变化率增大，$R_G\downarrow\rightarrow \mathrm{d}i/\mathrm{d}t\uparrow\rightarrow \mathrm{d}u/\mathrm{d}t\uparrow$，可能误导通，也会使驱动电路损耗增加，因此 R_G 要适当。选择 R_G 应考虑门极等效输入电容、电流容量、额定电压及开关频率。表 4-22 为 IGBT 门极电阻推荐值。

（3）输入与输出电路间隔离　IGBT 用于高频电路，驱动电路不能过长。

（4）有 IGBT 过电流或短路检测和关断保护　具体设计时为快速通断，驱动电路电源内阻应很小，便于向门极提高 $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ 的驱动电流；尽量减小门

极引线感性阻抗，防止快速门极通断时门极引线造成振荡，双绞线引线尽量短，适当增大门极电阻抑制驱动振荡。

表 4-22　不同容量 IGBT 对应门极电阻推荐值

被驱动 IGBT 额定电压及额定电流	额定电压/V	额定电流/A							
	600	50	100	150	200	300	400	600	800
	1200	25	50	75	100	150	200	300	400
门极串联电阻 R_G/Ω		51	25	15	12	8.2	5.1	3.3	2.2

2. 控制电路

（1）分立元件电路

1）光耦合的分立元件驱动电路。如图 4-168 所示，光耦合器和晶体管 V2 传递信号，推挽 V3 和 V4 电流放大。当有控制信号时，光耦合器导通，V2 截止 V3 导通，向门极输出 +15V；无控制信号时，光耦合器截止，V4 导通，向门极输出 −10V。光耦合器体积小，响应慢、延时大，光耦合器输出级需辅助电源。

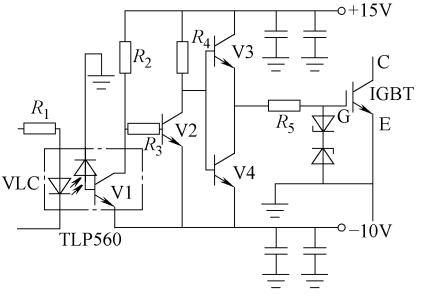


图 4-168　光耦合器驱动电路

2）脉冲变压器电路。脉冲变压器信号传输快，信号升与降沿陡直。图 4-169 为驱动和过电流保护的分立元件驱动电路。V1 传递驱动信号，V2 和 V3 推挽输出。检测 IGBT 通态压降即 V4 的集电极电压，IGBT 过电流时，集电极电压显著上升，通过检测 VD4 关断 IGBT。脉冲变压器无法传递直流信号或占空比信号。如需脉冲变压器传递大占空比信号，可对信号调制处理。图 4-170 为 TTL 小功率 MOSFET 驱动电路。驱动电路要靠近功率器件、电源紧靠驱动电路，内阻小、门极引线短；驱动电路输出端有门极过电压保护，即在门极并联反向连接稳压管；关断 IGBT 时给门极加一负偏压。

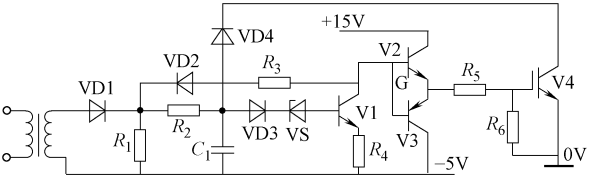


图 4-169　脉冲变压器隔离耦合分立元件驱动电路

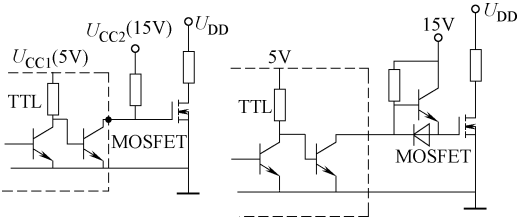


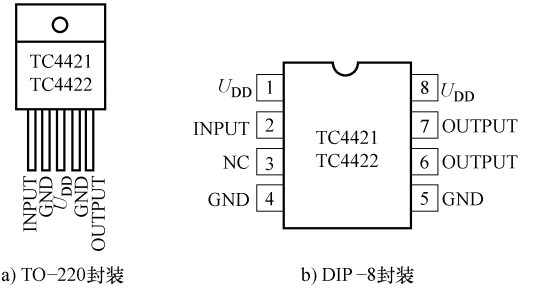
图 4-170　TTL 小功率 MOSFET 驱动电路

（2）IGBT 集成驱动电路　外接元器件少、体积小、驱动能力强，功能全。如 PC929、EXB841、IR2214 等，驱动芯片峰值输出 30A，有退饱和检测与过电流保护，变流电路设计简化，如 IR2110、IR2113、IR2214 等芯片有自举浮地驱动功能，可靠性高，能欠电压保护、死区封锁。

1）图腾推挽驱动器。TC4423/TC4424/TC4425 是双通道图腾推挽输出型高速门极驱动器，输出峰值3A，直接驱动中小功率 MOSFET 和 IGBT，TC4424 为同相驱动，另一个通道为反相驱动。图 4-171 为 TC4423/TC4424/TC4425 引脚排列，图 4-172 是内部原理。该系列驱动器有电平转换功能。电源电压 4.5～18V；最大脉冲输出 3A；低输出阻抗 3.5Ω；输入电平 TTL 兼容；信号传输延时33ns；典型上升23ns、下降25ns；1 个芯片内集成2 个驱动器，含多只 MOSFET 和 IGBT 变换电路中使用方便。使用时 TC4423/TC4424/TC4425 可直接驱动 MOSFET 和 IGBT，也可驱动脉冲变压器后再驱动功率器件；TC4421/TC4422 最大脉冲输出 9A，输出连续电流 2A。TC4421/TC4422 芯片内部只有 1 路驱动器。TC4421 为反相驱动，TC4422 为同相驱动。

2）光耦隔离驱动集成电路。电力电子变流电路中要求控制信号与主回路隔离，一般是驱动芯片输入级用光耦隔离。如 TLP250/ TLP251/ TLP350/ TLP550、HCPL-3120/HCPL-3165、EXB840/EXB841、PC929 及 M579 系列等。TLP250 是 MOSFET、IGBT 场控功率器件门极专用集成驱动电路，体积小，光耦隔离电压高，输出驱动能力强。图 4-173 为 TLP250 内部原理结构和引脚排序。工作电压 $U_{CC}=10\sim35$V；发光二极管最大正向电流 $I_{Fmax}=20$mA；最大输出电流为 ±2A；传输延时 $t_p=150$ns；光耦隔离电压 2500V。TLP250 只需极少外围元器件直接驱动 IGBT，见图 4-174a。如需驱动大容量功率器件，只需在 TLP250 输出外加推挽放大晶体管，见图 4-174b。

3）带过电流保护的驱动集成电路 PC929。比 EXB841 和 M579 系列驱动器体积小，有短路保护，逆变器中应用广泛。PC929 芯片引脚排列和内部原



a) TO-220封装　　b) DIP-8封装

图 4-171　TC4423/TC4424/TC4425 引脚排列

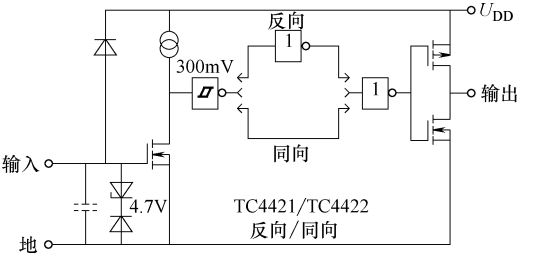


图 4-172　TC4423/TC4424/TC4425 内部原理

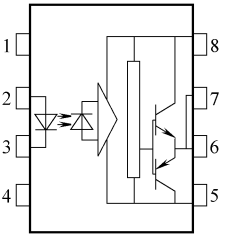
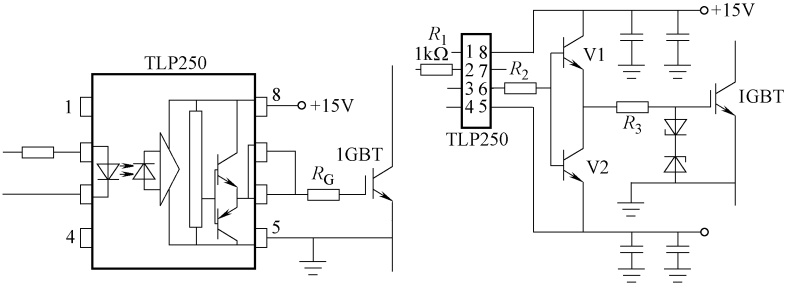


图 4-173　TLP250 内部原理结构图和引脚

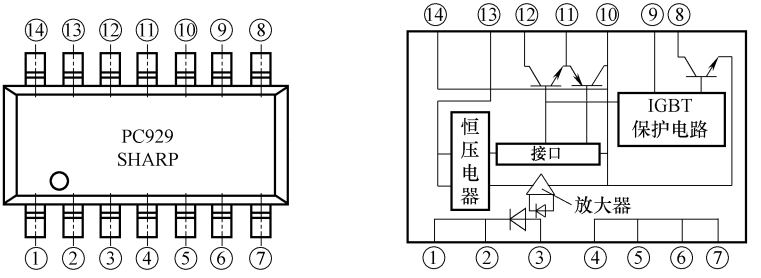
理见图 4-175，工作电压 $U_{CC}=10\sim35V$；二极管最大正向 $I_{Fmax}=20mA$；最大脉冲输出 0.4A；光耦隔离 4000V；信号传输延时小于 0.4μs；上升 0.3μs；下降 0.3μs；过电流时器件通态压降 6V；过电流检测电压滞环宽度 2V；过电流保护信号延时 4μs。过电流保护时门极驱动电压下降时间 5μs；过电流保护时输出 $U_{OE}=2V$。PC929 驱动和短路保护电路见图 4-176，通过高压快速二极管 VD_S，IGBT 导通时压降 U_{CE} 传递至保护电路，$U_{CE}>6V$ 门槛电压时，保护电路判定 IGBT 发生短路，关断驱动信号，8 脚发出故障信号。过电流保护为当 9 脚检测到 U_{CE} 上升至 6V，认为 IGBT 过电流；降低门极驱动电压，减小 IGBT 电流；向 8 脚送出过电流信号；如只是瞬间过电流且消失不重复，则关闭信号不动作，如持续故障，则关断 IGBT。

4）EXB 系列厚膜集成驱动器。带过电流保护的驱动集成电路，用于大功率 IGBT 模块门极驱动，有短路保护。将过电流时降低驱动电压 U_{GE} 与慢



a) 直接驱动　　b) 外加推挽驱动

图 4-174　TLP250 典型应用电路



引脚排列　　内部原理

图 4-175　PC929 的芯片

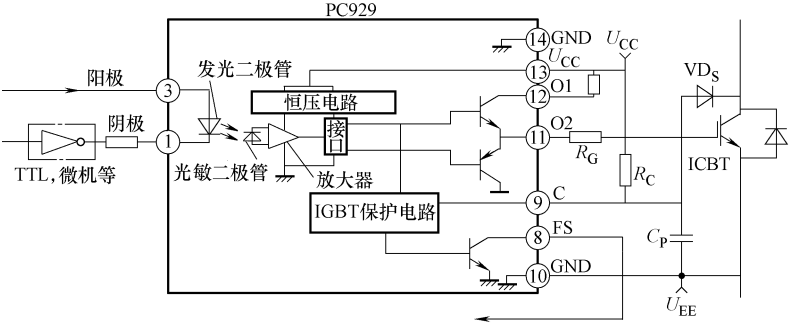


图 4-176　PC929 的驱动和短路保护电路

关断综合，电路检测到短路故障再延时 1.5μs 驱动电压 U_{GE}开始降低，准确判断过电流，再过 8μs 后 U_{GE}降低至 0V。在 9.5μs 时间内如短路消失，U_{GE}恢复正常值。恢复时间由外接设定，这延长了 IGBT 过电流承受时间，避免

过电流时因 du/dt 损坏器件。EXB841 工作原理见图 4-177，有光耦合器、放大单元、过电流保护和 5V 电压基准单元。关断信号 –5V 从稳压管与电阻的电源分压得到，驱动器只需 1 组电源，电路简化。图 4-178 为内部电路，典型应用见图 4-179。广泛用于大功率开关电源、逆变器、不间断电源及变频器。

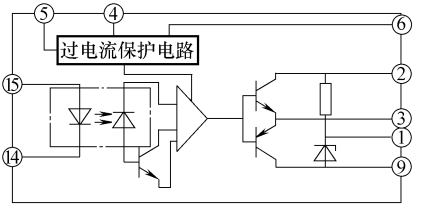


图 4-177　EXB 驱动器工作原理

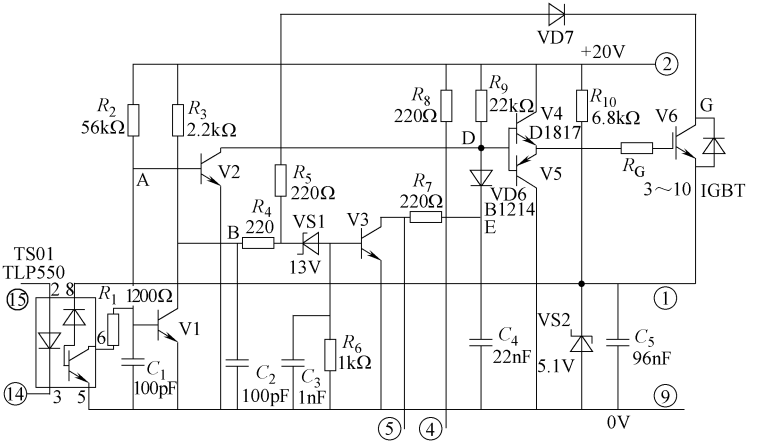


图 4-178　EXB841 驱动器内部电路

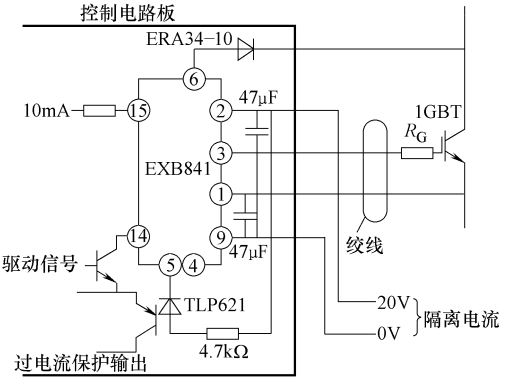


图 4-179　EXB841 典型应用

标准型产品 EXB850/851 工作最大频率 10kHz，高速型 EXB840/841 频率最大 40kHz。表 4-23 给出选用 EXB 系列对照，EXB850 和 EXB851 驱动电路信号延时小于 4μs，用于低于频率 10kHz 的开关电路。EXB840 和 EXB841 高速型驱动电路信号延时小于 1μs，用于频率 40kHz 开关电路。电源电压不大于 25V；光耦合器正向输入电流不大于 10mA；正偏输出电流 EXB850/EXB840 为 1.5A、EXB851/841 为 4A；反偏输出电流 EXB850/EXB840 为 1.5A、EXB851/841 为 4A；延时时间 EXD840/EXB841 为 1.5μs；EXB850/EXB851 为 4.0μs；过电流保护电压 7.5V；过电流保护延时 10μs；反偏 5V。图 4-183 中两个 47μF 电容为驱动电源滤波。门极电流由 R_G 调整，参考表 4-24。具体应用时 IGBT 的门极-发射极驱动回路接线小于 1m；用双绞线；EXB 系列驱动器通过检测 IGBT 导通时，IGBT 过电流保护、过电流检测、保护关断由驱动芯片自身完成；EXB 系列驱动器软关断过电流，主电路 du/dt 比硬关断时小；驱动器内部有功放电路，当容量不够时不推荐外加功率放大电路，建议用其他类驱动器；应用时如 IGBT 集电极电压出现尖脉冲，说明开关工作动态电流太大，或引线电感太大，可增加门极串联电阻，具体参考见表 4-25 ~ 表 4-27。

表 4-23　选用 EXB 系列对照

IGBT	驱动 600V IGBT		驱动 1200V IGBT	
	150A	400A	75A	300A
标准型	EXB850	EXB851	EXB850	EXB851
高速型	EXB840	EXB841	EXB840	EXB841

表 4-24　EXB850 门极电阻和电源电流推荐数据

IGBT 额定值	600V	10A	15A	30A	50A	75A	100A	150A
	1200V	—	8A	15A	25A	—	50A	75A
R_G		250Ω	150Ω	82Ω	50Ω	33Ω	25Ω	15Ω
I_{CC}	5kHz	24mA	—		24mA	—		26mA
	10kHz	24mA	—		25mA	—		29mA

（3）M579 系列 IGBT 驱动模块　驱动大功率 IGBT 模块，基本特性见表 4-28，光电隔离，有些型号有过电流保护。M579 系列驱动模块功能相似，M57957L 和 M57958L 功能框图见图 4-180。功耗小、可单电源工作；输入与 CMOS、TTL 电平兼容；内置高速光耦合器，隔离电压达 2500V。电源 U_{CC} =

18V，$U_{EE}=-12V$；输入信号上拉电压 $U_{in}=5V$；输入电流 16mA；传输延迟 1μs；上升 0.6μs；下降 0.4μs。M57957/M57958L 典型应用电路见图 4-181，可分别驱动 600V/200A、1200V/100A 和 600V/400A、1200V/200A 容量的 IGBT 模块。

表 4-25　EXB851 应用中门极电阻和电源电流推荐数据

IGBT 额定值	600V	200A	300A	400A	—
	200V	100A	150A	200A	300A
R_G		12Ω	8.2Ω	5Ω	3.3Ω
I_{CC}	5kHz	37mA	29mA	30mA	34mA
	10kHz	31mA	34mA	37mA	44mA
	15kHz	34mA	39mA	44mA	54mA

表 4-26　EXB840 门极电阻和电源电流推荐数据

IGBT 额定值	600V	10A	15A	30A	50A	75A	100A	150A
	1200V	—	8A	15A	25A	—	50A	75A
R_G		250Ω	150Ω	82Ω	50Ω	33Ω	25Ω	15Ω
I_{CC}	5kHz	17mA	—		17mA	—		
	10kHz	17mA	—		18mA	—		
	15kHz	18mA	—		20mA	—		

表 4-27　EXB841 推荐的门极电阻和电源电流

IGBT 额定值	600V	200A	300A	400A	—
	1200V	100A	150A	200A	300A
R_G		12Ω	8.2Ω	5Ω	3.3Ω
I_{CC}	5kHz	20mA	22mA	23mA	27mA
	10kHz	24mA	27mA	30mA	37mA
	15kHz	27mA	32mA	37mA	47mA

（4）浮地驱动集成电路 IR2114/2214　可为逆变桥中高压与低压侧的两个功率器件提供驱动信号，只需 1 个电源，在三相逆变器电路中应用浮地驱动集成电路。浮地驱动两路功率器件；退饱和技术检测 IGBT 过电流；降栅

表 4-28　M579 系列 IGBT 驱动模块的基本特性

M579 系列	峰值输出电流	短路保护电流	优化应用范围电流	
			600V 以下 IGBT	1200V 以下 IGBT
M57957L	2A	无	≤100A	≤ 50A
M57958L	5A		≤ 400A	≤ 200A
M57959L	2A		≤ 100A	≤ 50A
M57962L	5A	有	≤ 400A	≤ 200A

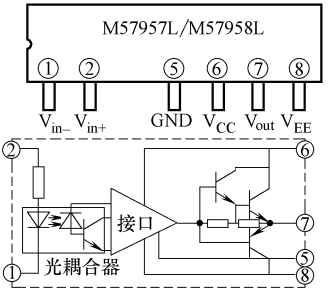


图 4-180　M57957L/M57958L 功能框图

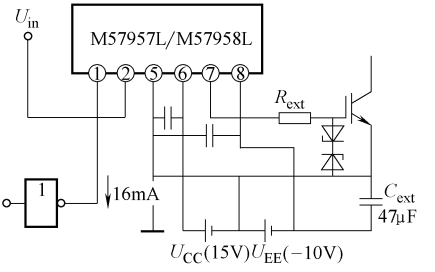


图 4-181　M57957/M57958L 典型应用电路

压和慢关断技术过电保护；上下两路驱动都有欠电压封锁功能；上下两路信号互锁，防止桥臂直通；输入信号与单片机的 5V、DSP 的 3.3V 电平兼容。图 4-182 是 IR2114/2214 引脚，图 4-183 为内部功能框图。图 4-184 为 IR2214 典型应用电路。最高浮地电压 IR2114 为 600V、IR2214 为 1200V；输出脉冲驱动拉电流 2A、灌电流 3A；最高电源电压 25V；芯片电源欠电压 9.3V；浮地电源欠电压 9.3V；死区时间 330ns；信号传输延时 440ns；上升 24ns；下降 7ns；上管过电流退饱和检测电压阀值 8V；下管过电流退饱和检测电压阀值 7V；过电流信号屏蔽时间 330ns。

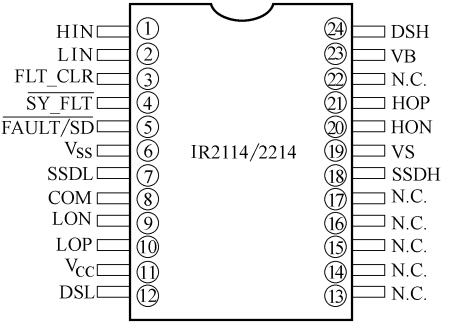


图 4-182　IR2114/2214 引脚

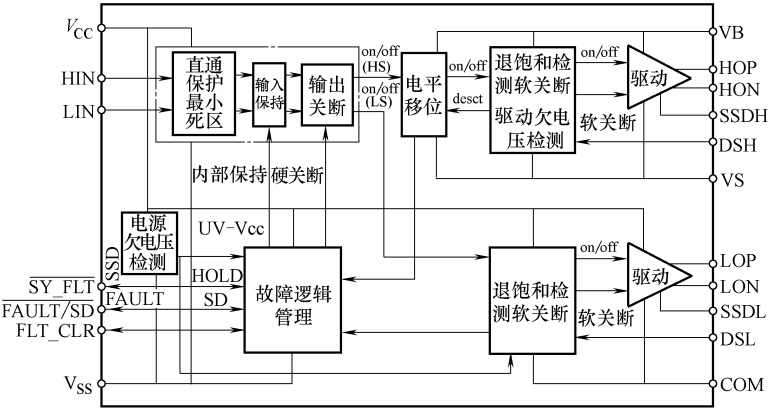


图 4-183　IR2114/2214 功能框图

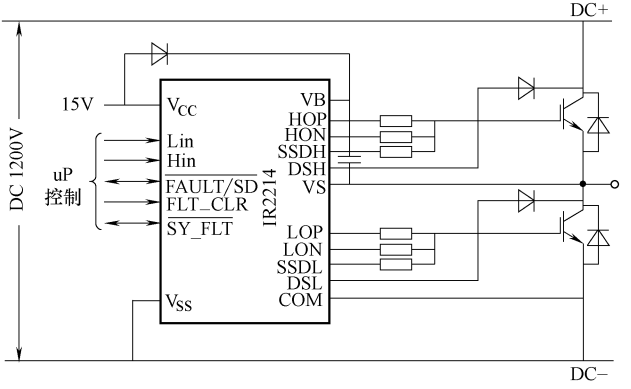


图 4-184　IR2214 典型应用电路

第五章　调速技术及变频器

第一节　调 速 概 述

一、调速方式分类

1. 驱动电动机类型

直流与交流调速。前者驱动直流电动机，调速性能优越但结构复杂、换向器维护困难，难满足大型设备需要；效率低、散热差。后者驱动交流异步电动机和同步电动机，调速性能已达到或超过直流调速。

2. 主要应用

① 通用机械节能调速。风机、泵和压缩机等，节能30% ~40%；利于设备运行；调速范围不大于2。

② 工艺调速。根据工艺速度运行，以交流调速为主，属于高性能调速。

③ 车辆牵引和船舶推进调速。属于牵引和推进调速，有特殊要求，设备庞大，需散热及防护等，交流占优势。

④ 特殊调速。如转速超过6 000r/min，只能交流调速；调速范围为1:50 000 ~1:100 000，用永磁交流电动机实现。

3. 调速方式

① 开环和闭环调速。前者不能自动纠正转速偏差，后者可自动校正转速。

② 无级和有级调速。前者连续平滑调速；后者间断调速，数字控制调速系统，级数多，级差小，认为是无级调速。

③ 向上和向下调速。额定工况运行的电动机转速称为额定转速或基速。从基速提高转速为向上调速，反之为向下调速。

4. 恒转矩和恒功率调速

调速过程中，额定电流时电动机转矩维持额定值不变为恒转矩调速，此时电动机输出功率与转速成正比；额定电流时电动机转矩与转速成反比。直流电动机认为电压 $U \approx C_e n$。若调速时维持磁通为额定值，改变电压调节转速，则额定电流时转矩维持不变，功率与转速成正比，即恒转矩调速；若调速时维持电压不变，改变磁通调速，则磁通与转矩成反比，额定电流时转矩与转速成反比，功率不变，即恒功率调速。

选择恒转矩、恒功率调速需要配合负载类型。如恒转矩调速用于恒功率类型的负载，造成电动机功率比负载功率大许多；如电动机恒功率调速范围和负载要求恒功率范围一致，电动机功率最小。如负载要求恒功率范围大，电动机恒功率调速范围受电气条件限制不能满足时，只能放大电动机功率，扩大调速系统的恒转矩调速范围，弥补恒功率调速范围的不足。

二、串级调速原理

先将异步电动机转子电压整流成直流，再在直流侧串入 1 个与其相反的直流电动势，此直流电动势由晶闸管有源逆变器产生，达到调速与节能目的。其有机械串级调速、晶闸管串级调速。附加电动势工作原理见图5-1。

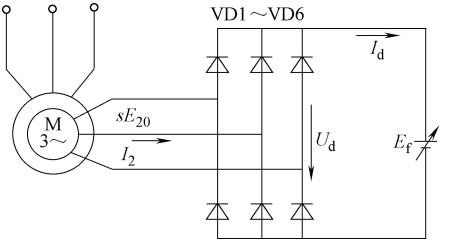


图 5-1　附加电动势工作原理

基本原理是绕线转子异步电动机与 1 台直流电动机同轴带负载。转差功率经整流器后传输给直流电动机，直流电动机再传送给负载。直流电动机电动势为附加电动势，调节直流电动机的励磁电流，可调节异步电动机的转速。增大直流电动机的励磁电流异步电动机减速，反之则加速。晶闸管串级调速原理是在绕线转子异步电动机转子侧通过晶闸管整流桥，将转差频率交流电变为直流电，再经逆变器得到可调的直流电压，作调速所需的附加直流电动势，将转差功率变换为机械能反馈回电源而实现调速，见图 5-2。

在绕线转子异步电动机转子回路中引入可控交流附加电动势，能改变电动机转速，附加电动势的频率必须能随电动机转速而变化，且在调速动态过程中保持一致。在转子侧加入可变频率、可变电压幅值的量，但工程实现很难。因此，将电动机转子电动势先整流成直流，再引入 1 个直流附加电动势，并控制其幅值，就可调节异步电动机转速，将交流电压转化为与频率无关的直流电压。

如图 5-2 所示，1 个交-直-交变频器，逆变器 V2 通过变压器与交流电网相连，输出频率即电网频率，V2 是有源逆变器。从变频特性来看，串级调速系统是在定子恒压恒频供电下的转子变频调速系统。M 转子相电动势 sE_{20} 经不可控整流器 V1 整流，输出直流 U_d。逆变状态的三相可控整流装置 V2，提供可调直流 U_i 作调速所需的附加直流电动势，还将经 V1 整流后输出的异步电动机转差功率逆变成交流，回馈到交流电网。整流后转子直流回路电压

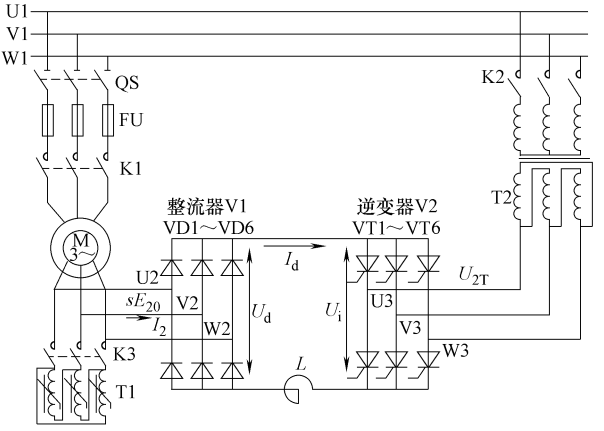


图 5-2　晶闸管串级调速系统原理

T1—逆变变压器　L—平波电抗器

平衡方程式为

$$U_d = U_i + I_d R \tag{5-1}$$

即

$$K_1 s E_{20} = K_2 U_{2T} \cos\beta + I_d R \tag{5-2}$$

式中　K_1、K_2——电压整流系数，三相桥式电路，$K_1 = K_2 = 2.34$；

U_i——逆变器直流侧电压；

U_{2T}——逆变变压器二次相电压；

β——逆变状态可控整流装置 V2 的逆变角；

R——转子直流电路总电阻。

可知，U_d 包含电动机转差功率，I_d 与电动机转子交流 I_2 间比例关系固定，近似反映电动机电磁转矩。电动机带动恒转矩负载稳速运行，$\beta\uparrow\rightarrow U_i\downarrow$，但因惯性作用，$U_d$ 仍保持不变，转子直流回路电流 I_d 增大，转子电流和电磁转矩都增大，但负载转矩不变，电动机加速。加速过程中 $U_d\downarrow\rightarrow I_d\downarrow\rightarrow U_d$，$U_i$ 与 I_d 间出现新平衡，电动机进入新的稳定运行，比原转速更高。减少 β 时，电动机将降低转速运行。平滑调节 β，即平滑调节异步电动机转速。

因电动机转差功率能通过转子整流器变换为直流功率，再通过逆变器变换为交流功率回馈到电网或设备，转差功率被利用，效率高，为节能型调速方式，广泛用于大功率风机、泵、轧钢机、矿井提升机和挤压机等；但功率因数低、谐波大。

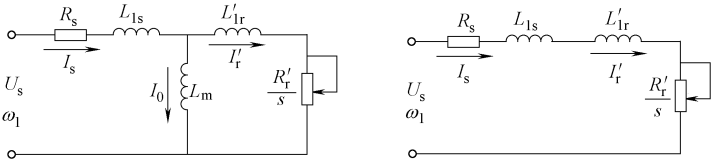
第二节　变频调速技术

一、变频调速原理

由交流电动机转速公式 $n=n_0(1-s)=60f/p(1-s)$（异步电动机）和 $n_0=60f/p$（同步电动机）可知，改变 f 可改变 n；改变 p 是有级调速，改变 s 调速，比较困难。仅改变 f 不能获得良好的变频特性。真正变频调速时，需要同时改变 U 和 f，保持磁通量恒定，即 VVVF。

1. 异步电动机稳态模型

若忽略空间和时间谐波、磁饱和、铁损，则稳态模型可用 T 型等效电路表示，见图 5-3a。



a) 异步电动机T形等效电路　　b) 异步电动机等效电路

图 5-3　异步电动机等效电路

图中，R_s、R'_r为定子每相电阻和折合到定子侧的转子每相电阻；L_{1s}、L'_{1r}为定子每相漏感和折合到定子侧的转子每相漏感；L_m 为定子每相绕组产生气隙主磁通的等效电感，即励磁电感；U_s、ω_1 为定子相电压和供电角频率；I_s、I'_r为定子相电流和折合到定子侧的转子相电流。

2. 转速开环异步电动机变压变频调速

常采用电压-频率协调控制即 U/f 控制，分为基频以下和基频以上两种方式。

（1）基频以下调速　为充分利用电动机铁心、电动机产生转矩，基频以下用恒磁通控制，保持 φ_m 不变，当 f_1 从额定值 f_{1N} 向下时，必须同时降低 E_g，电动势频率比是恒定值。但绕组中感应电动势难以直接控制，当电动势的值较高时，忽略定子电阻和漏磁阻感抗压降，认定定子相电压 $U_s\approx E_g$，则

$$E_g/f_1=\text{常数}$$

即恒压频比控制方式，控制特性见图 5-4。低频时，U_s 和 E_g 都小，定子电阻和漏磁电感抗压降所占分量相对较大，抬高定子相电压 U_s，便补偿

定子压降，称为压频补偿或转矩提升。

（2）基频以上调速　频率从f_{1N}升高，但定子电压U_s不可能超额定电压U_{sN}，只能保持$U_s = U_{sN}$，这将使磁通量与频率呈反比下降，异步电动机工作在弱磁状态。基频以下和以上控制特性见图 5-5。如电动机在不同转速下都能使所带负载电流达到额定值，转矩基本随磁通变化而变化。在基频以下磁通恒定，转矩恒定，为恒转矩调速；基频以上转速升高时磁通恒减小，转矩也降低，为恒功率调速。

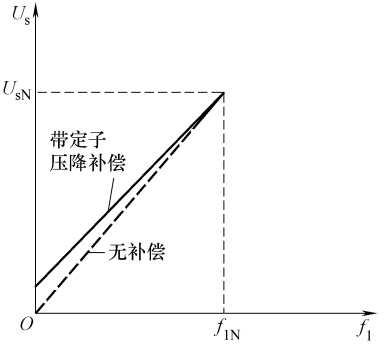


图 5-4　恒压频比控制特性

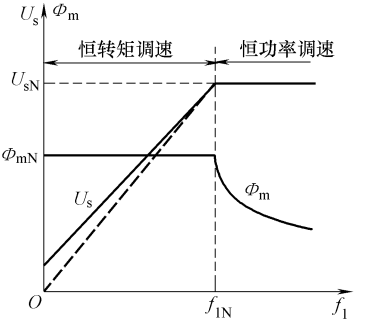


图 5-5　异步电动机变压变频调速的控制特性

3. 恒压频比时的机械特性

基频以下用恒压频比控制时，异步电动机的电磁转矩为

$$T_e = 3n_p\left(\frac{U_s}{\omega_1}\right)^2 \frac{s\omega_1 R'_r}{[(sR_s + R'_r)^2 + s^2\omega_1^2(L_{1s} + L'_{1s})^2]} \tag{5-3}$$

s 很小时，有

$$T_e \approx 3n_p\left(\frac{U_s}{\omega_1}\right)^2 \frac{s\omega_1}{R'_r} \propto s \tag{5-4}$$

由此，带负载时的转速降 Δn 为

$$\Delta n = sn_1 = \frac{60}{2\pi n_P}s\omega_1 \approx \frac{10}{\pi n_P^2}\frac{R'_r T_e}{\left(\frac{U_s}{\omega_1}\right)^2} \propto T_e \tag{5-5}$$

U_s/ω_1 恒定时，对同一转矩 T_e，Δn 基本不变。即在恒压频比时改变 ω_1，机械特性曲线平行下移，见图 5-6a。将最大转矩改写为

$$T_{emax} = \frac{3n_p}{2}\left(\frac{U_s}{\omega_1}\right)^2 \frac{1}{\left[\frac{R_s}{\omega_1} + \sqrt{\left(\frac{R_s}{\omega_1}\right)^2 + (L_{1s} + L'_{1r})^2}\right]} \tag{5-6}$$

可见，最大转矩 T_{emax} 随 ω_1 降低而减小。频率很低时，T_{emax} 很小，电动机带负载能力减弱，采用低频电子压降补偿，适当提高 U_s，可增强带载能力。在基频 f_{1N} 以上变频调速时，$U_s = U_{sN}$ 不变，机械特性方程式为

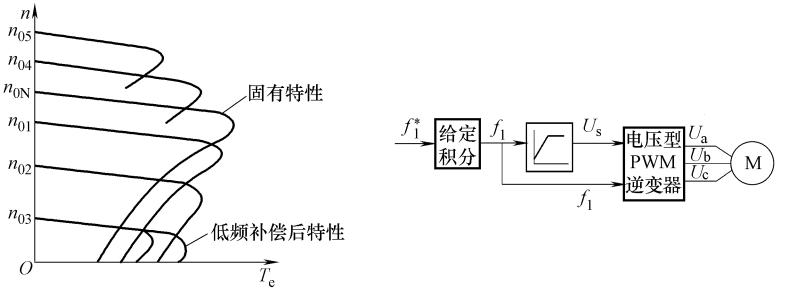
$$T_e = \frac{3U_{sN}^2 n_p R'_r}{s\left[\left(R_s + \frac{R'_r}{s}\right) + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2\right]\omega_1} \tag{5-7}$$

最大转矩为

$$T_{emax} = \frac{3U_{sN}^2 n_p}{2\omega_1 [(R_s + \sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2}]} \tag{5-8}$$

当 ω_1 提高时，同步转速提高，最大转矩减小，机械特性曲线上移。因频率提高而电压不变，气隙磁通势必减弱，转矩减小、转速提高，可认为输出功率不变。

图 5-6 中采用通用变频器。为避免过电流，频率给定后设积分环节。U/f 控制得到理想转矩-速度特性，在改变电源频率调速时，保证电动机磁通不变。U/f 控制变频器结构简单，开环控制，低频时，必须转矩补偿。



a) 变压变频调速机械特性　　b) 转速开环变压变频调速结构原理

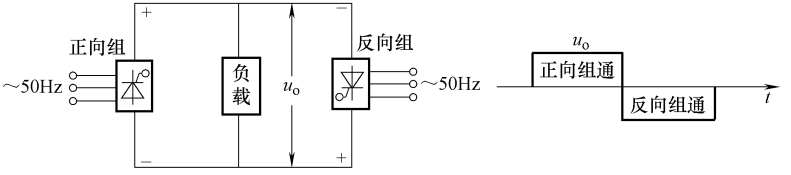
图 5-6　异步电动机变压变频调速机械特性及结构原理

二、变频器的分类与功能

1. 按原理分类

（1）交-交变频器　有 1 个变换环节将恒压频交流电源转换为变压变频

电源。输出每一相都是两组晶闸管整流装置反并联可逆电路，见图 5-7a。正反向两组按周期相互切换，在负载获得交变输出电压 u_o。u_o 的幅值取决于触发延迟角 α，u_o 的频率是两组整流切换频率。如 α 不变，输出平均电压是方波，见图 5-7b。



a) 电路原理　　b) 方波电压波形

图 5-7　交-交变频器单相电路及方波电压

对三相负载，其他两相各用一套反并联可逆电路，输出平均电压相差 120°。如每个整流器都用桥式电路，三相交-交变频器需三套反并联桥式电路，36 个晶闸管，见图 5-8。此电路因无环流运行，必须保证严格过零触发反组工作，为保证可靠必须要 1 个死区，输出频率不大于 15Hz。如采用有环流运行，则需加 6 只环流电抗器，输出频率可提到 20 ~ 25Hz。交-交变频器只有 1 个变换环节，所用器件多；输出频率不大于 30Hz，一般用于低速、大容量调速。交-交变频器输出分 120° 导通型方波电流源变频器和 180° 导通型正弦波电压源变频器。

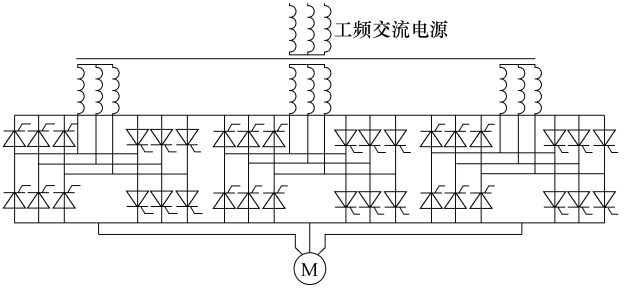


图 5-8　六脉冲无环流交-交变频器主电路

（2）交-直-交变频器　先将工频交流电整流成直流，再逆变。

1）按直流环节储能方式，分为电压型和电流型。

① 电压型变频器见图 5-9。整流的直流电压通过电容滤波供逆变电路，大电容滤波输出电压波形平直，看成内阻为零的电压源，逆变输出矩形电压波或阶梯波。用于不要求正反转或快速加减速的通用变频器。

② 电流型变频器见图 5-10。中间直流环节大电感滤波，直流电流波形平直，电源内阻很大，对负载是电流源，输出矩形波交流电流，适于频繁可逆和大容量变频器。

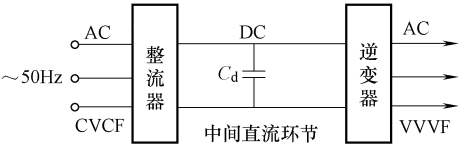


图 5-9　电压型变频器

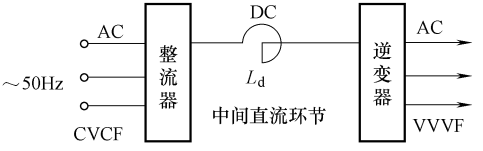


图 5-10　电流型变频器

2）按调压方式，分为脉幅和脉宽调制。通过调节输出脉冲幅值输出控制。逆变器控制频率，整流器控制输出电压或电流；脉宽调制是改变输出脉冲占空比调节变频器输出电压。占空比按正弦波变化的脉宽调制使用最多。

① U/f 控制变频器。压频比控制，同时控制变频器输出 U 和 f。额定频率下，保持 U/f 恒定使电动机获得所需转矩特性。适于成本低、精度低的变频器。

② 转差频率控制变频器。U/f 控制的改进方式，通过电动机、速度传感器构成速度反馈闭环调速，在电动机轴上安装速度传感器，依据电动机特性调节转差，通用性较差。

③ 矢量控制变频器。将电动机定子电流分解为励磁和转矩电流，分别控制。同时控制电动机定子电流矢量。调速范围与直流电动机相当，可直接控制电动机转矩，用于精密或快速控制。

④ 直接转矩控制变频器。将转矩直接作控制量，不需转速信息；无速度传感器控制。

2. 按用途分类

（1）通用变频器。简易型通用变频器和高性能多功能通用变频器，前

者属节能的简化系统功能，用于水泵、风扇、鼓风机等，体积小、价格低；后者考虑具体需要，满足系统软、硬件条件。

（2）专用变频器。

1）高性能专用变频器。矢量控制变频器及专用电动机构成的交流伺服系统性能达到和超过直流伺服系统。其环境适应性强，在高速、高精度控制中，高性能交流伺服变频器将逐步代替直流伺服系统。

2）高频变频器。用 PAM 控制，输出主频达 3kHz，驱动两级异步电动机最高转速 180 000r/min。

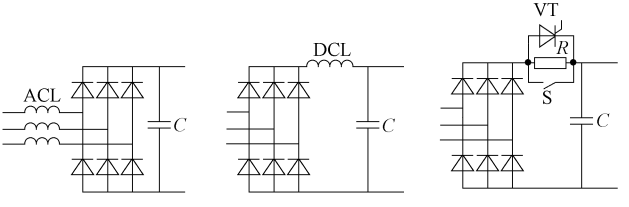
3）高压变频器。一般是大容量变频器，功率达 5 000kW，电压等级 3kV、6kV 和 10kV。一种是“高-低-高”式变压变频器；另一种用 IGBT 或 IGBT 集成门级环流晶闸管串联方式，“高-高”式高压变频器，高压直接整流为直流。

三、中间电路

1. 滤波电路

（1）电容滤波　大容量电容串并联，对整流电路输出电压滤波，耐压高、电流大。二极管整流器电源接通时，电容流过电流较大，可能烧坏二极管，必须抑制。集中抑制浪涌电流方式见图 5-11。电容滤波后再送逆变器，负载电压不变化。该变频器称为电压型变频器，电路见图 5-12。电压型变频器逆变电压波形为方波，电流波形经电动机绕组感性负载滤波后近似正弦波，见图 5-13。

（2）电感滤波　大容量电感对整流输出电流滤波，滤波后加于逆变器的电流值稳定，外特性类似电流源，称为电流型变频器。结构框图见图 5-14，电流型变频器逆变电流波形为方波，电压波形经电动机绕组感性负载滤波后近似正弦波，见图 5-15。



a) 接入交流电抗　b) 接入直流电抗　c) 串联充电电阻

图 5-11　抑制浪涌电流的方式

2. 制动电路

利用直流电路中制动电阻吸收电动机再生电能，转变成动力制动或再生制

动。有制动电阻或动力制动单元，见图 5-16，含晶体管 V_B、二极管 VD_B 和制动电阻 R_B。如回馈能量大或强制动，可在 H、G 外接制动电阻 R_{EB}，当电动机制动时，能量经逆变器回馈到直流侧，使直流侧滤波电容电压升高，当超设定值时，即自动给 V_B 基极施加信号并导通，将 R_B（R_{EB}）与电容并联，存储于电容中的再生能量经 R_B（R_{EB}）消耗。具有动力制动单元的变频器，由功能码设定。V_B、VD_B 在变频器内，新型 IPM 用 IGBT 集成。制动电阻在柜外。

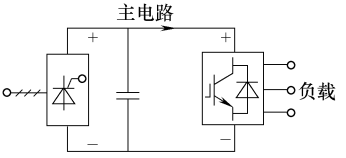


图 5-12　电压型变频器电路

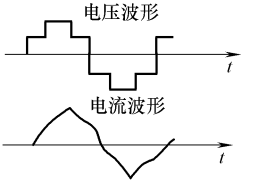


图 5-13　电压型变频器的电压和电流波形

异步电动机运行时给定子绕组送直流电，转子绕组产生制动力矩，电动机停转。当变频器向异步电动机定子送直流电时，电动机能耗制动，此时变频器输出零频率，异步电动机定子产生静止恒幅磁场，转子切割磁场产生制动转矩。直流制动用于准确停机、遏制起动前电动机的爬动。

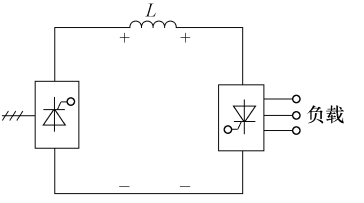


图 5-14　电流型变频器结构框图

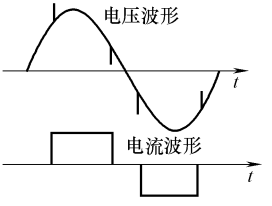


图 5-15　电流型变频器输出电压及电流波形

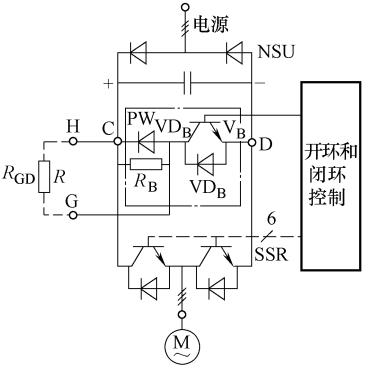


图 5-16　制动电路原理

第三节　三菱 FR—500 及 FR—700 系列变频器

一、变频器主电路

1. 输入电源

FR—500/700 系列中，FR—S500/E500 用三相或单相电源，其余型号只能三相 AC 400V 电源，电源要求见表 5-1。主电路必须有短路保护，如断路器或熔断器。

表 5-1　FR—S500/F540/E500 变频器的电源要求

输入电源/V	连接端	电源要求	
		输入电压/V	输入频率/Hz
单相 AC 200 输入	R、S(L1、N)	单相 AC 170～246	50/60(1±5%)
三相 AC 200 输入	R、S、T(L1、L2、L3)	三相 AC 170～246	
三相 AC 400 输入		三相 AC 325～528	

变频器输入电源、断路器容量与接线截面积见表 5-2。当变频器选配直流母线电抗器，电源容量可降低 20%～30%。对低于 100kW 变频器，接地线截面积不小于电源线截面积；100kW 以上变频器接地线截面积为电源线的 1/2，应不小于 60mm^2，接地电阻小于 10Ω。变频器对电源无相序要求。

表 5-2　FR—500/700 系列变频器输入电源、断路器容量与接线截面积

变频器控制电动机功率/kW		电源容量/kV·A							断路器/A	电源与电机线截面积/mm^2
		S500	E500	F540	A540	V540	F740	A740		
0.4	单相 AC 200V	1.5	1.5	—	—	—	—	—	16	1.5
	三相 AC 200V	1.2		—	—	—	—	—	10	
	三相 AC 380V	1.5	1.5	1.1	1.5	—	—	1.5	6	
0.75	单相 AC 200V	2.5	2.3	—	—	—	—	—	25	2.5
	三相 AC 200V	2.1	2.5	—	—	—	—	—	16	1.5
	三相 AC 380V	2.5	2.5	2.2	2.5	—	2.1	2.5	10	
1.5	单相 AC 200V	4.4	4.0	—	—	—	—	—	40	4
	三相 AC 200V	4.0	4.5	—	—	—	—	—	25	2.5
	三相 AC 380V	4.5		4.2	4.5	5.0	4.0	4.5	16	
2.2	单相 AC 200V	—	5.2	—	—	—	—	—	50	4
	三相 AC 200V	5.5	5.5	—	—	—	—	—	32	2.5
	三相 AC 380V			4.8	5.5	6.5	4.8	5.5	16	2.5
3.7	三相 AC 200V	9	9.5	—	—	—	—	—	63	6
	三相 AC 380V	9.5	9.5	8.6	9	10	8.0	9	32	4

（续）

变频器控制电动机功率/kW		电源容量/kV·A							断路器/A	电源与电机线截面积/mm²
		S500	E500	F540	A540	V540	F740	A740		
5.5	三相 AC 200V	—	12	—	—	—	—	—	80	10
	三相 AC 380V	—	12	12	12	14	11.5	12	40	4
7.5	三相 AC 200V	—	17	—	—	—	—	—	100	16
	三相 AC 380V	—	17	17	17	19	16	17	50	6
11		—	—	20	20	23	20	20	63	6
15		—	—	28	28	33	27	28	80	10
18.5		—	—	32	34	39	32	34	100	16
22		—	—	41	41	48	41	41	125	25
30		—	—	52	52	57	52	52	160	25
37		—	—	65	66	77	65	66	200	35
45		—	—	79	80	90	79	80	225	50
55		—	—	99	100	123	99	100	250	95
75		—	—	110	—	114	110	110	250	95
80		—	—	—	130	—	—	—	315	120
90		—	—	137	—	135	137	137		
100		—	—	—	152	—	—	—	400	2×70
110		—	—	165	—	166	165	165		
132		—	—	198	198	187	198	198	500	2×95
160		—	—	230	231	229	247	248		
185		—	—	274	—	—	275	275	630	2×120
200		—	—	—	—	288	—	—		
220		—	—	329	316	—	329	329	800	2×150
250		—	—	363	366	350	366	367		
280		—	—	—	416	—	416	417	1000	3×120
315		—	—	464	—	—	464	465	1250	3×150
355		—	—	—	—	—	520	521		4×120
375		—	—	—	526	—	—	—		
400		—	—	571	—	—	586	587	1600	4×150
450		—	—	—	—	—	659	660		
500		—	—	—	—	—	733	733		
560		—	—	—	—	—	833	—	2000	4×200
630		—	—	—	—	—	923	—		

2. 电源通/断与制动电路

（1）电源通/断控制电路　小功率变频器控制电源与主电源可直接连

接，需在主回路接接触器。当变频器带有外接制动单元或外接制动电阻时，电动机频繁起动、制动引起电阻发热，必须有制动电阻热保护电路。大功率变频器，内部故障时接通电源；控制电路可靠性高；在变频器故障时需要保留故障状态的场合，以上情况变频器控制电源与主电源应分离。变频器有控制电源端 R、S，出厂时已并联于电源，控制电源与主电源可分离供电，见图 5-17。电源分离时，确认变频器内部无障碍，再接主电源，见图 5-18。

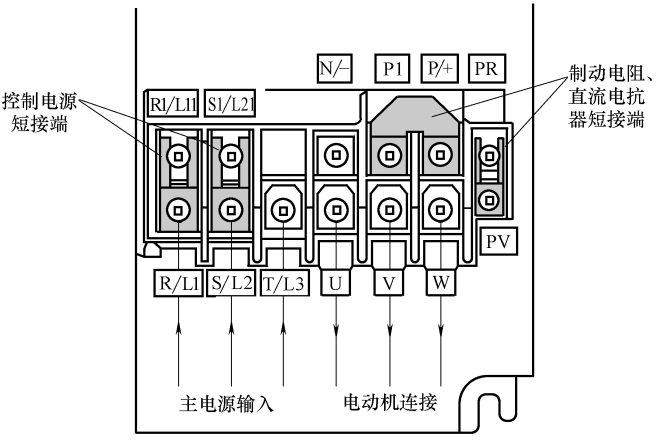


图 5-17　变频器出厂短接端

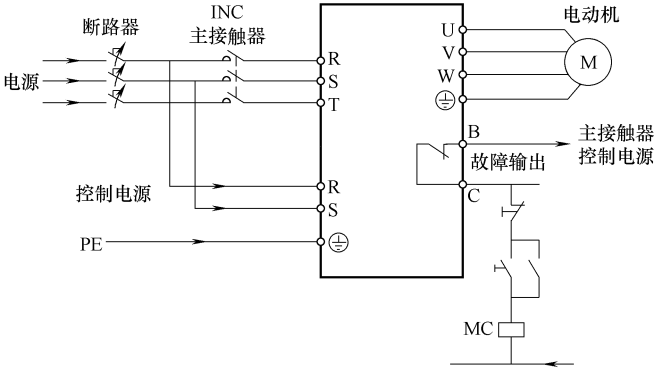


图 5-18　控制电源与主电源分离

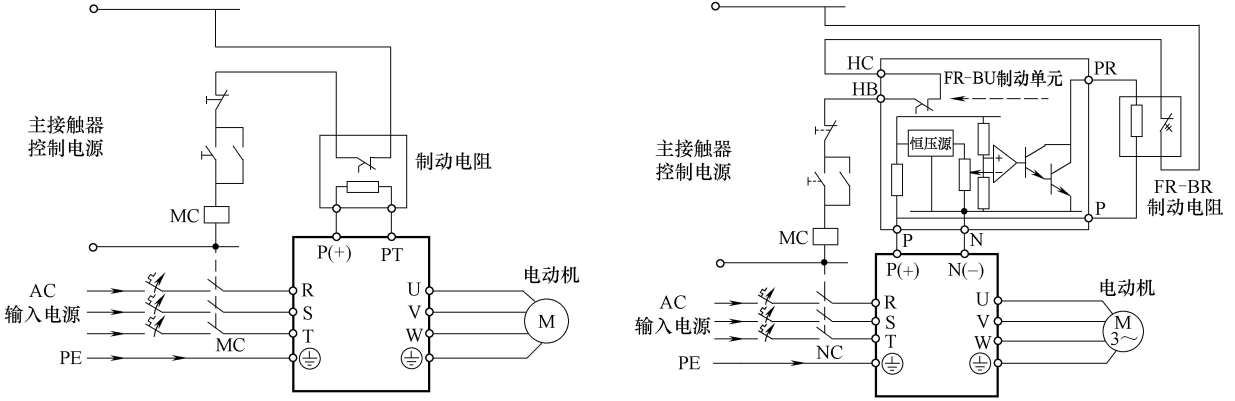


图 5-19　制动电阻保护电路

（2）直流电抗器与制动电阻电路　变频器需选配直流电抗器时，断开变频器短接端 P1、P（+），将电抗器串联到直流母线。直流主回路引出端 P（+）、PR、N（-）连接外部制动电阻与制动单元，并考虑制动电阻热保护。对小功率变频器只增加外接 FR-ABR 高频制动电阻选件，直接接到变频器的 P（+）、PR 端，如变频器内部有制动电阻，拆除变频器的 PX-PR 短接端，脱开内部制动电阻，制动电阻热保护触点应串联到主接触器回路中；当用 FR-B 制动单元与 FR-BR 制动电阻组件时，制动单元内部带有直流母线电压检测电路，应将 FR-BU 的 P、N 并联到变频器的 P（+）、N（-）端，检测直流母线电压；将 FR-BR 制动电阻连接到制动单元 P 与 PR 端，见图 5-19。

FR-BU 制动单元有过电流检测触点，FR-BR 制动电阻有过热触点，两者串联到主接触器控制电路中。

3. 其他电路设计

（1）功率因数转换器　55kW 以下变频器用 FR-HC 型，75kW 以下变频器用 MT-HC 型。两者与变频器的连接见图 5-20、图 5-21。另外，需在开关量输入中定义功能号 X10 与 X11，作功率因数转换器的准备好 RDY 与瞬时断电检测信号 Y1 或 Y2 连接，并连接复位信号 RES。

（2）直流母线变换器　大功率变频器采用独立整流单元即直流母线变换单元，供给多个变频器直流电源。与直流母线变换器 FR-CV 连接，见图 5-22。变频器开关量输入功能代号为 X10，作直流母线变换器准备好 RDY 信号，并连接 RES。

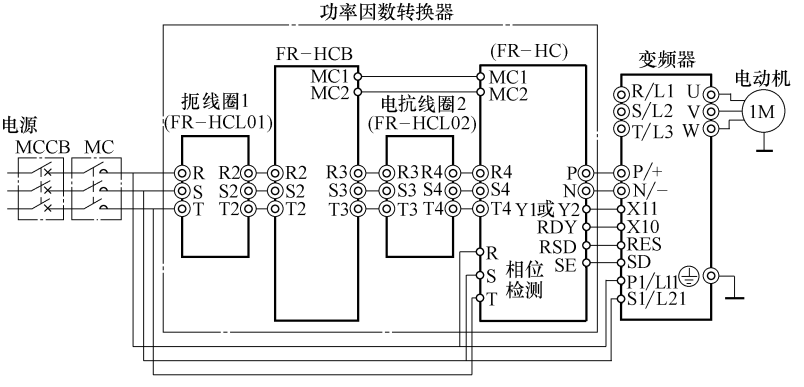


图 5-20　与功率因数转换器 FR-HC 连接

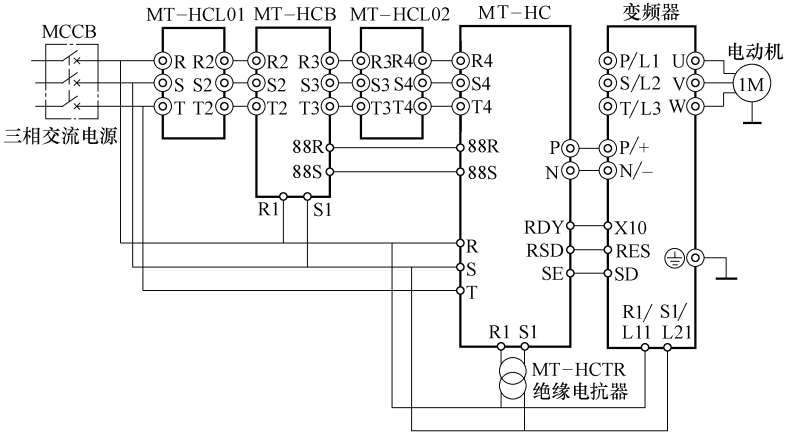


图 5-21　与功率因数转换器 MT-HC 连接

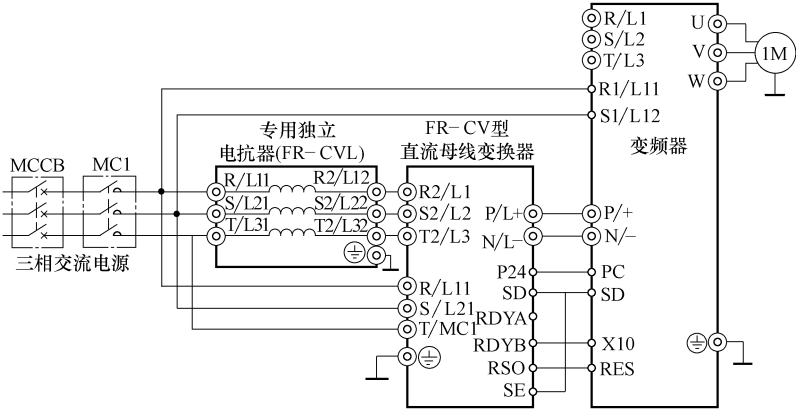


图 5-22　变频器与母线变换器 FR-CV 的连接

（3）电源再生制动单元　选用电源再生制动单元 MT-RC 时，与电源再生制动单元 MT-RC 连接见图 5-23。

二、变频器电气接线

变频器电气接线包括主回路、开关量输入/输出、模拟量输入/输出、频率给定与显示，以及高性能变频器使用脉冲与数字输入/输出信号，如脉冲频率给定与实际速度输出、速度与位置检测等。

1. FR—500 系列变频器电气接线

（1）FR—S500/F500J/E500　FR—500 系列是经济型产品，控制电动机

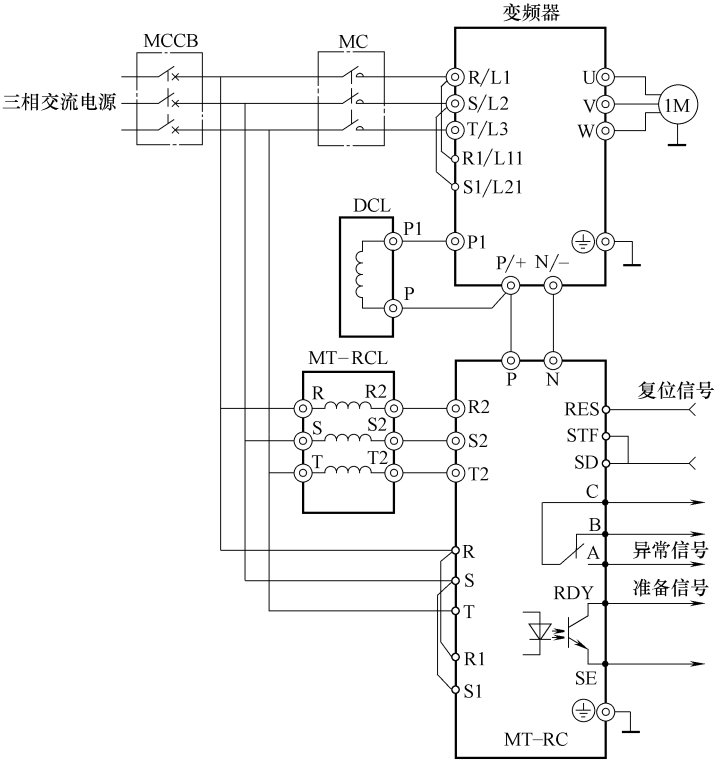


图 5-23　变频器与电源再生制动单元 MT-RC 连接

功率小，见图 5-24。FR—S500、FR—F500J 电路相同。FR—E500 增加开关量输入/输出方式与 FR—S500/F500J 一致，输入/输出点增加了 2/1 点，总计为7/2点。FR—E500 增加开关量输出“输出停止 MRS”、“复位 RES”。MRS 直接封锁变频器逆变功率管输出；RES 可解除瞬间故障引起的变频器内部保护。FR—E500 增加了开关量输出为出厂设定“频率检测 FU”，由参数设定信号，便于外部控制。开关量输入用汇点输入或源输入连接，输出为集电极开路，报警信号为继电器输出。

（2）FR—F540/A540　与 FR—S500/F500J/E500 系列相比改进较大。主电源与控制电源可分离；开关量输入/输出信号增加到了 12/5 点；增加DC－5～5V、DC－10～10V 第 2 模拟量输入端；增加脉冲输入端 FM，见图 5-25。

（3）FR—V540　它在 FR—500 系列中功能最强，可直接组成闭环系

统。主电源与控制电源可分离；有编码器连接接口，可构成闭环速度或位置控制；带有电动机热保护开关输入端，可直接连接电动机温度传感器；开关量输入/输出信号共计 7/4 点，其中 4 点输出与 4 点输入可由用户定义；有两通道 DC－10～10V 输入，无 4～20mA 电流输入；有两通道 DC－10～10V 输出，可通过参数设定与选择。总连接见图 5-26。

2. FR—700 系列变频器电气接线

外部连接与 F540/A540 相似。开关量输入有 12 点，AU 端可接热电阻；继电器输出 2 点，功能由参数设定；无 1440Hz 脉冲输出端，更改为 0～20mA 输出；增加了 RS485、USB 接口，见图 5-27。

三、开关量输入电路

1. 输入信号连接

（1）信号名称与规格　开关量输入 DI 用于变频器控制，可对 DI 扩展。表 5-3 为 FR—500/700 系列变频器 DI 信号及意义，大部分 DI 信号可由参数设定，外部连接要求不变。三菱变频器开关量输入信号规格与要求见表 5-4。

（2）输入类型与选择　输入电路是双向光电隔离、*RC* 滤波，输入响应滞后 10ms。有漏型与源型输入两种方式。漏型输入短接端 SINK 与源输入短接端 SOURCE 在 FR—S500/E500 系列的安装见图 5-28a、b，直接打开接线端子盖板后可以进行设定。对于 FR—A540/F540 与 A740/F740 系列变频器，先拆下接线端子后在控制板上加以设定，见图 5-28c～图 5-28e。

表 5-3　FR—500 /700 系列变频器 DI 信号及意义

信号代号	含义(标准设定)	变频器型号							
		S500	E500	F500J	F540	A540	V540	F740	A740
—	标准 DI 信号数量	5	7	5	12	12	12	12	12
STF	正转:1,正转;0,无效	●	●	●	●	●	●	●	●
STR	反转:1,反转;0,无效	●	●	●	●	●	●	●	●
STOP	停止:1,起动;0,停止	×	×	×	●	●	×	●	●
RH	运行速度(频率)选择 1	●	●	●	●	●	●	●	●
RM	运行速度(频率)选择 2	●	●	●	●	●	●	●	●
RL	运行速度(频率)选择 3	●	●	●	●	●	●	●	●
MRS	输出停止。1,停止变频器输出;0,无效	×	●	×	●	●	×	●	●
RES	复位。1:清除变频器故障;0:无效	×	●	×	●	●	●	●	●
JOG	点动。1,点动方式(点动运行 STF/STR 控制);0,无效	×	×	×	●	●	×	●	●
RT	第 2 加减速特性选择。1,第 2 加减速特性/第 2 转矩提升/第 2 额定频率等设定参数有效;0,无效	×	×	×	●	●	●	●	●

（续）

信号代号	含义(标准设定)	变频器型号							
		S500	E500	F500J	F540	A540	V540	F740	A740
AU	频率给定选择。1，4～20mA 输入有效；0，电压输入有效	×	×	×	●	●	×	●	●
CS	瞬时停电自起动功能选择。1，有效；0，无效	×	×	×	●	●	×	●	●
SD	输入公共端	—							
PC	源输入时的电源输出端	最大驱动能力：DC 24V/100mA							

注：●—默认设定；×—未设定或不可使用。

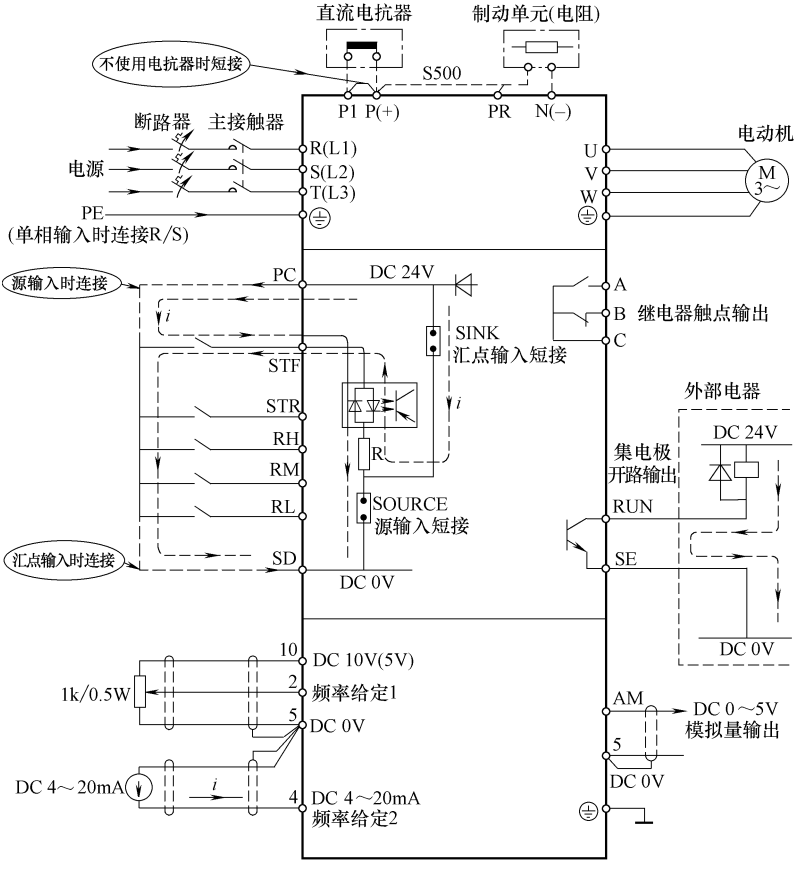


图 5-24　FR—S500/F500J/E500 总连接图

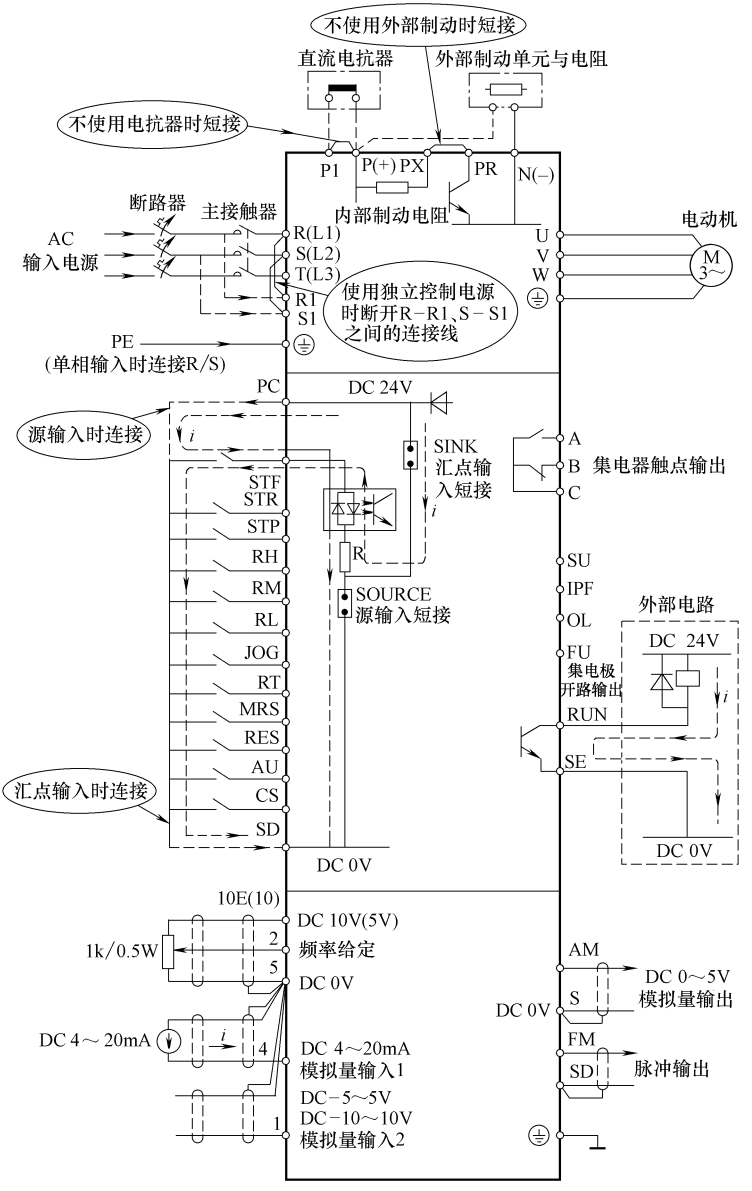


图 5-25　FR—F540/A540 总连接图

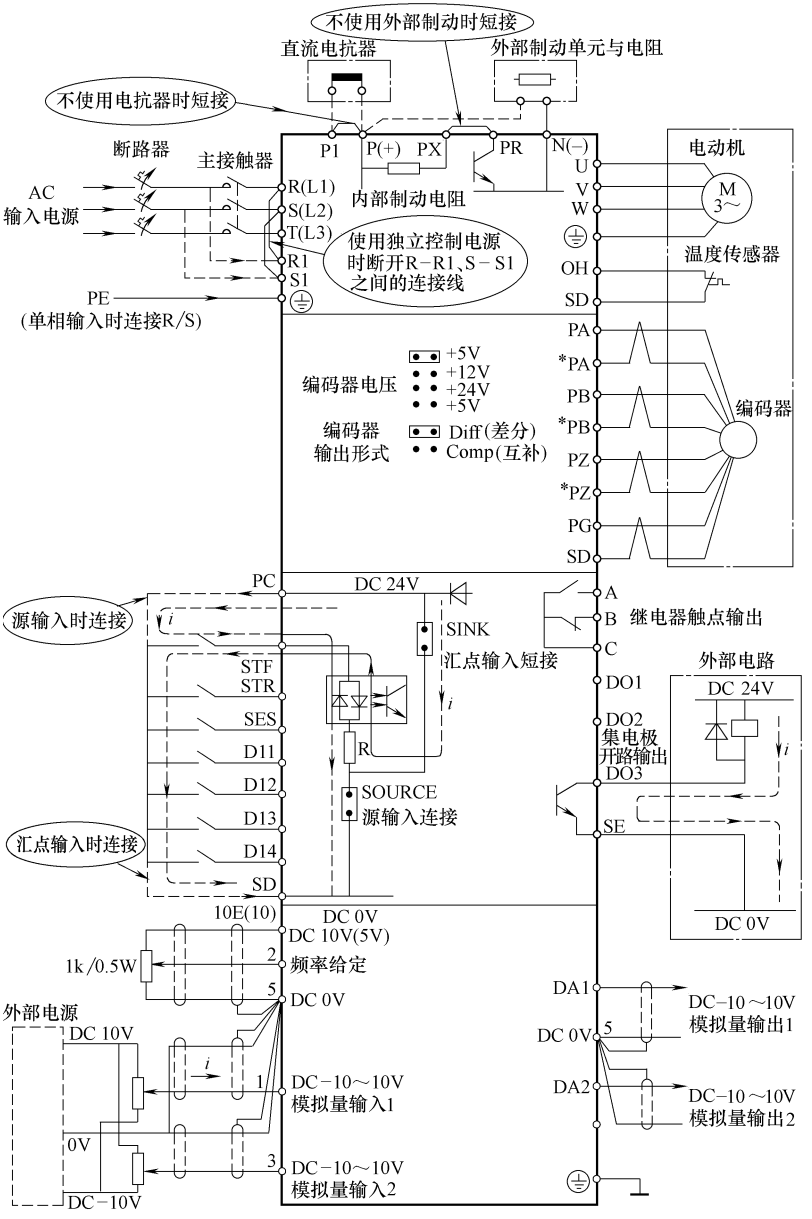


图 5-26　FR—V540 总连接图

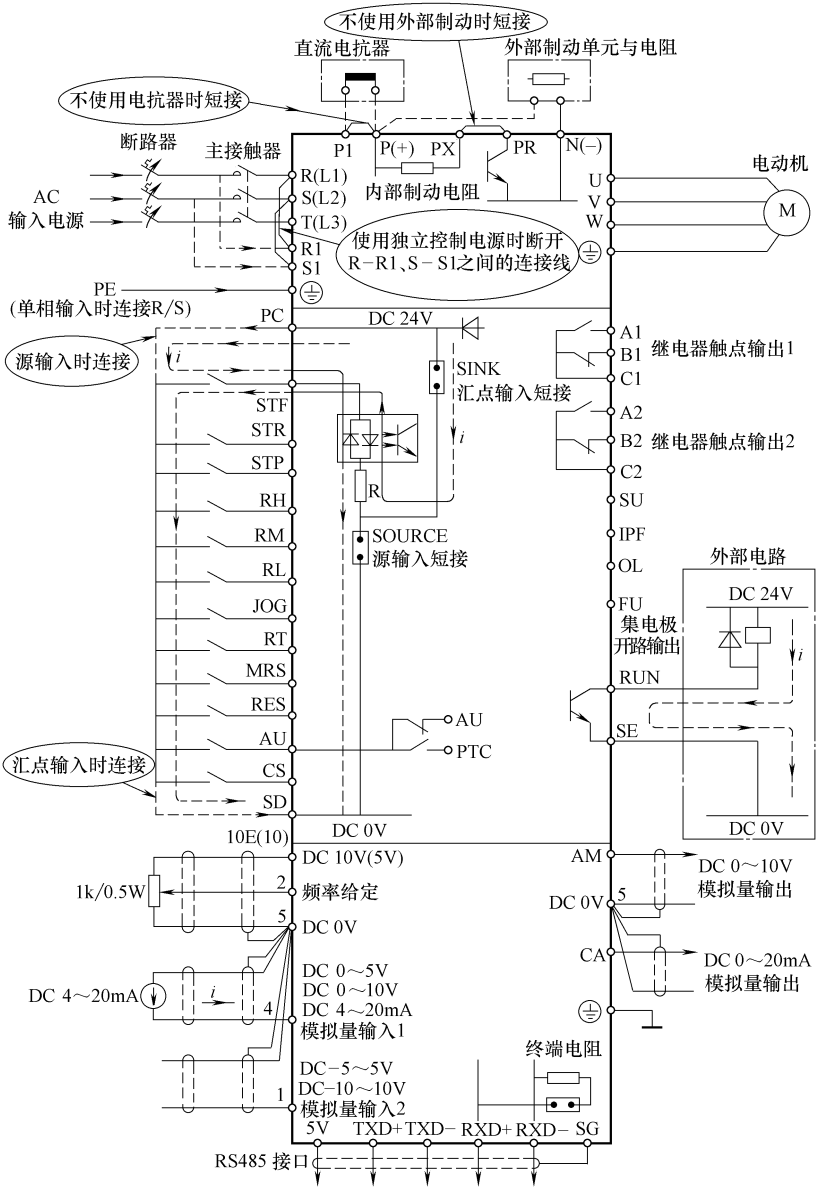
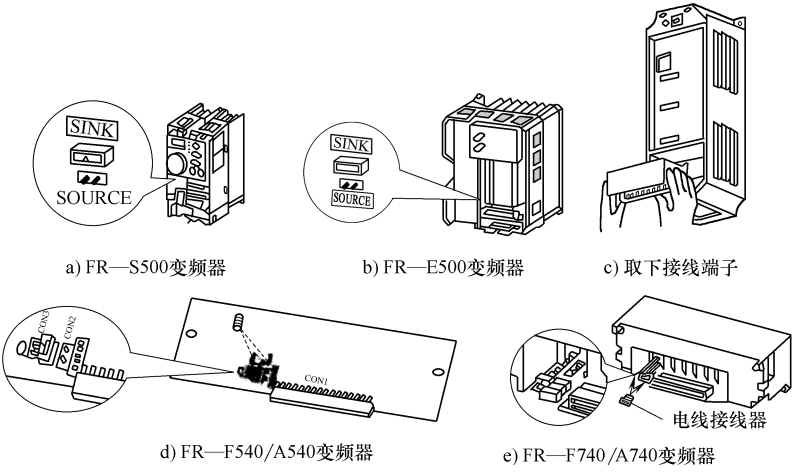


图 5-27　FR—F740/A740 总连接图

表 5-4　FR—500 /700 系列变频器开关量输入信号规格与要求

项　　目	规　　格
输入信号电压	DC 24V，－15% ～ ＋10%
输入信号电流	5. 1mA/24V
输入 ON 电流	≥3. 5mA/24V
输入 OFF 电流	≤1. 5mA
输入响应时间	≈10ms
输入信号连接形式	直流源输入或汇点
输入隔离电路	双向光耦合
内部限流电阻	4. 7kΩ



a) FR—S500变频器　　b) FR—E500变频器　　c) 取下接线端子

d) FR—F540/A540变频器　　e) FR—F740/A740变频器

图 5-28　变频器设定端安装

2. 输入信号连接

（1）直流汇点输入　即漏型输入由变频器提供输入信号电源，所有输入信号的一端汇总到公共端，不需外部电源。汇点输入时内部接口电路见图 5-29，限流电阻 4. 7kΩ。S 闭合时，内部 DC 24V 与 0V 间经光耦合器件、限流电阻、输入点、公共端 SD 构成回路，内部为“1”。输入线与外部地短路时，如变频器内部 SD 与接地线间无隔离，引起输入误动作，不建议 SD 与设备地线连接。当接近开关输入时，输入端可与 NPN 型输出端直接连接，见图 5-30a；需增加“下拉电阻”时的电路见图 5-30b，下拉电阻取值为 1. 5 ~2kΩ。图 5-31 用发光二极管检测开关，若泄漏电流太大，需在输入端并联限泄漏电阻。

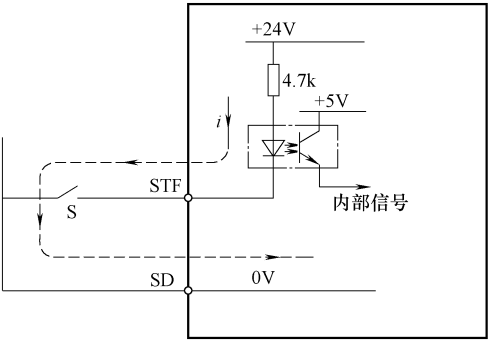
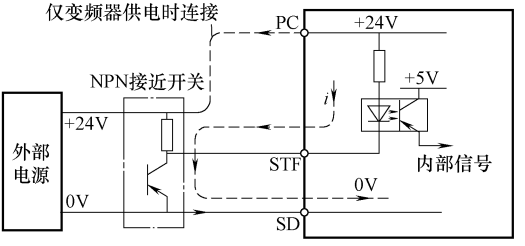
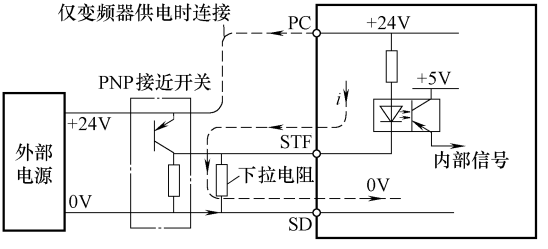


图 5-29　汇点输入时内部接口电路



a) 直接连接



b) 下拉电阻

图 5-30　汇点输入与接近开关的连接

接近开关 DC 24V 由变频器提供或外部提供；变频器提供的电流不大于 100mA；外供时，电源 0V 端子与 SD 连接。

（2）直流源输入连接　源输入由输入信号提供驱动电源，变频器接口

见图 5-32。S 闭合时，DC 24V 与 0V 间通过光耦合器件、限流电阻、输入点与 SD 构成回路，变频器内部为“1”。当输入连接线与外部地短路或断路时，不会误输入“1”。用外部电源时，输入线路故障不影响内部电源，输入电源容量不受变频器限制。当接近开关源输入可与 PNP 型接近开关直接连接；用 NPN 型接近开关时需要增加上拉电阻，见图 5-33。增加上拉电阻后，接近开关发出信号时“上拉电阻”下端 0V，无电流；接近开关未发信号时，DC 24V 与 0V 间通过“上拉电阻”、限流电阻、光耦合，经 SD 构成回路，输入“1”。上拉电阻取值为 1.5 ~ 2kΩ。接近开关 DC 24V 电源可由变频器提供或外部提供，外供时，电源 0V 端子与 SD 连接。

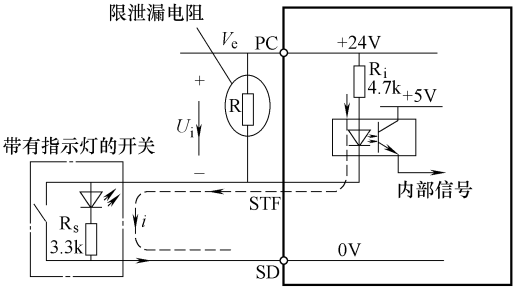


图 5-31　并联限泄漏电阻

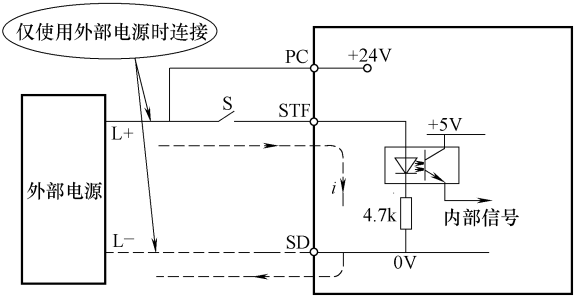


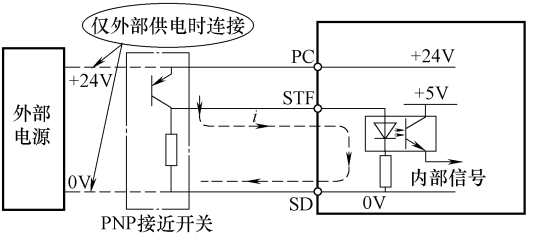
图 5-32　源输入的接口电路

3. 正/反转与停止控制

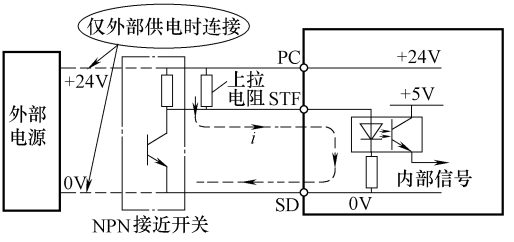
变频器正/反转与停止 STF/STR/STOP 信号，通过开关量输入端，三菱变频器内部已经固定。

（1）FR—500 系列　正/反转信号能自保，只需外部脉冲信号，停止时用 STOP 端子；E540 变频器无默认 STOP 端子，可设定参数 Pr180 ~ Pr186，

定义 1 个输入端，如将 RL 作为 STOP 输入端；A540 直接使用默认 STOP 端子；STF/STR/STOP 信号作用见图 5-34c。

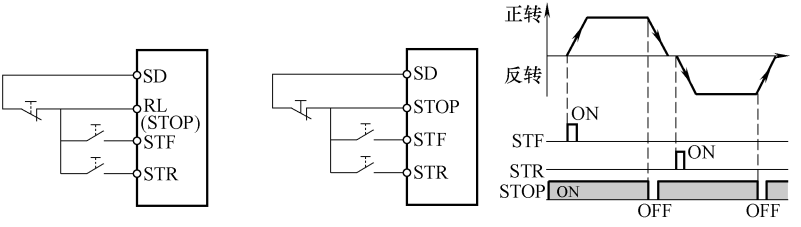


a) PNP型接近开关



b) NPN型接近开关

图 5-33　源输入与接近开关的连接



a) E540变频器　　b) A540变频器　　c) 信号作用

图 5-34　FR—500 系列的 STF/STR/STOP 控制

（2）FR—700 系列　FR—700 系列正/反转控制由 Pr250 设定多种方式。

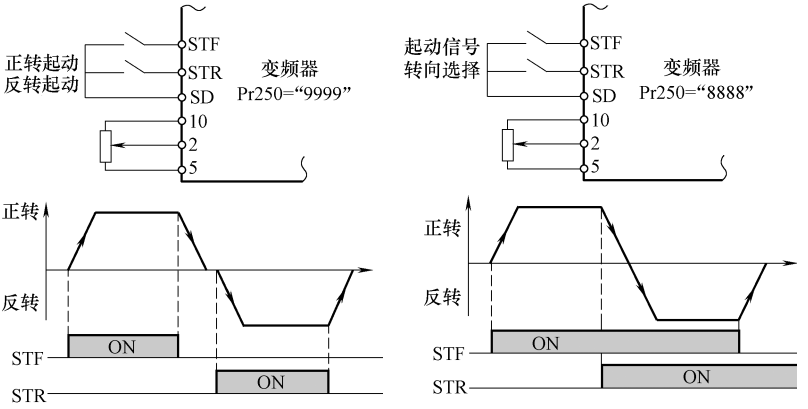
4. 正反转控制

（1）不用 STOP 的起动/停止与转向控制　FR—700 系列变频器由 Pr250 设定两种起动/停止与转向控制方式。

① Pr250 = 9999 时，STF/STR 用电平信号。STF = 1，正转；STR = 1，反

转；同时为 0 时停转，见图 5-35a。

② Pr250 = 8888 时，STF/STR 为起动与转向控制电平信号。STF = 1，起动；STF = 0，停止；电动机转向由 STR 选择，STR = 0 时正转，STR = 1 时反转，见图 5-35b。



a) STR/STR为正/反转　　b) STR/STR为起动与转向

图 5-35　不使用 STOP 信号的控制

（2）用 STOP 的起动/停止与转向控制　如用 STOP 信号，FR—700 系列变频器由 Pr250 设定两种起动/停止与转向控制方式。

① Pr250 = 9999 时，使用脉冲型 STF/STR 信号，并连接 STOP 信号。如 STOP 触点闭合，只要 STF 有上升沿，电动机起动正转；STR 有上升沿，电动机反转。断开 STOP 触点，变频器停止，见图 5-36a。

② Pr250 = 8888 时，STF 为脉冲起动信号，STR 为电平型转向信号。如 STF 上升脉冲时 STR = 0，变频器起动，电动机正转；如 STF 上升脉冲时 STR = 1，变频器起动，电动机反转。断开 STOP 触点，变频器停止，见图 5-36b。

5. 其他开关量输入

（1）输出关闭信号 MRS　用于关闭变频器逆变功率输出。信号有效时电动机自由停机。当 STOP 有效时，电动机在变频器控制下减速停止，电动机始终有电力制动转矩；MRS 信号电动机自由停机，见图 5-37。MRS 信号用于有机械制动的调速系统，也可作为变频器的起动互锁。

MRS 由 Pr178 ~ Pr189 设定，开关量输入端中的 1 个作为信号输入端。

MRS 信号极性由 Pr17 设定，Pr17 = 0、MRS = 1 时关闭变频器输出（常开触点输入）；Pr17 = 2、MRS = 0 时关闭变频器输出（常闭触点输入）。

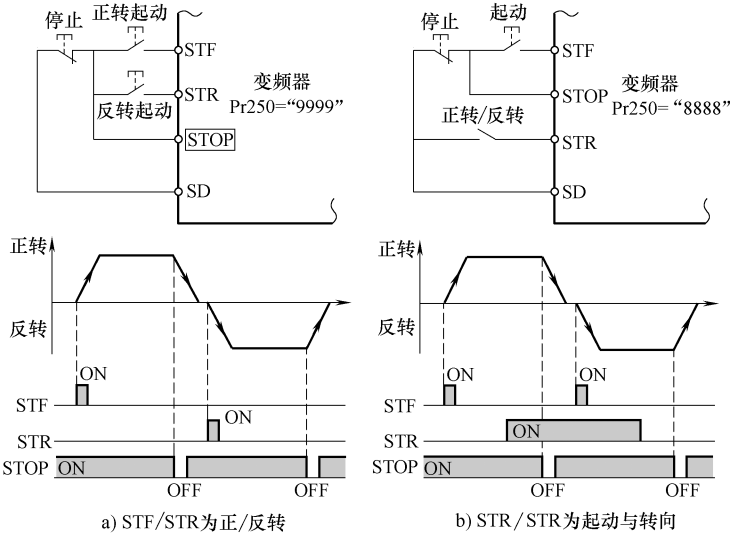


图 5-36　使用 STOP 信号的控制

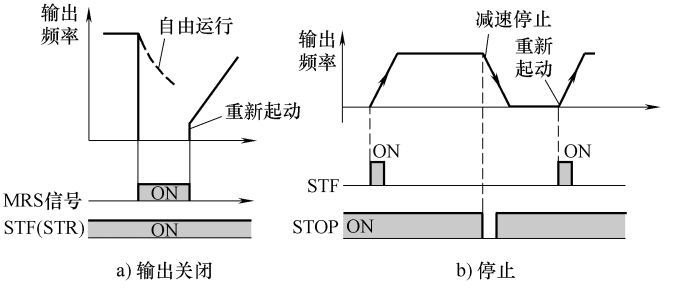


图 5-37　变频器的输出关闭与停止

FR—700 系列，MRS 可用于网络控制，网络 MRS 信号或开关量 MRS 信号生效，变频器输出即关闭。Pr17 选择对网络信号与开关量输入同样有效，如需选择开关量输入为常闭触点，网络控制为常开触点输入，设 Pr17 = 4。

（2）多电动机切换信号　变频器切换控制 RT 与 X9（仅 A540、FR—700）可转换部分参数。用于 1 台变频器电路切换控制多台电动机，或用 1

台电动机控制多个特性区别很大的负载。RT 用于转换第 2 组电动机参数，X9 转换第 3 组电动机参数。RT、X9 通过 Pr178 ~ Pr189 设定，在开关量输入中选择 1 个作为输入端。

电动机切换信号生效条件由 Pr155 选择。当 Pr155 = 0，信号输入生效；当 Pr155 = 10，加减速时无效。具体要求如 FR-E500 系列在 *U/f* 方式进行第 2 组电动机切换；FR—A540 系列在 *U/f* 方式进行第 2、第 3 组电动机切换；FR—A740 系列可第 2、第 3 组电动机切换，并且第 2 组电动机可使用开环矢量控制方式，而第 3 组电动机只能是 *U/f* 控制方式。

FR—A740 在电动机切换信号有效时变频器内部相关参数转换见表 5-5。表中粗实线下面的参数不能使用，如 FR—E500 系列不能用 Pr 110 ~ Pr115（第 3 组电动机参数）；FR—A540 系列不能用 Pr450 ~ Pr860（第 2 组电动机矢量控制参数）等。

表 5-5　变频器内部相关参数转换

参数作用	切换参数号		
	第 1 组电动机控制（RT 为 0、X9 为 0）	第 2 组电动机控制（RT 为 1、X9 为 0）	第 3 组电动机控制（RT 为 0、X9 为 1）
U/f 转矩提升	Pr0	Pr46	Pr116
电动机额定频率	Pr3	Pr47	Pr113
加速时间	Pr7	Pr44	Pr110
减速时间	Pr8	Pr45	Pr111
过电流保护	Pr9	Pr51	—
失速防止功能设定	Pr22、Pr66	Pr48、Pr49	Pr114、Pr115
电动机类型	Pr71	Pr450	—
电动机参数	Pr80 ~ Pr84、Pr89、Pr90 ~ Pr94、Pr96、Pr859	Pr453 ~ Pr457、Pr569、Pr458 ~ Pr462、Pr463、Pr860	—
在线自动调整	Pr95	Pr574	—
变频器控制方式选择	Pr800	Pr451	—
速度调节器参数	Pr820、Pr821	Pr830、Pr831	—
速度给定滤波器参数	Pr822、Pr826	Pr832、Pr836	—
速度反馈滤波器参数	Pr823	Pr833	—
电流调节器参数	Pr824、Pr825	Pr834、Pr835	—
电流反馈滤波器参数	Pr827	Pr837	—

四、开关量输出电路

1. 输出信号

（1）信号与规格　内部状态开关量输出为 DO，F540/A540/V540/F740/

A740 等系列变频器可通过选件作 DO 点扩展。表 5-6 为 FR—500/700 系列使用的 DO 信号及含义，部分 DO 信号可通过参数改变功能，而外部接线不变。FR—500/700 系列开关量技术参数见表 5-7。

（2）继电器触点输出　故障输出为继电器触点，是 1 组有公共端的 ON/OFF 触点；负载电压不大于 AC 200V/DC 30V，负载电流不大于 0.3A，继电器触点滞后 10ms，根据实际驱动负载。直流感性负载两端接续流二极管，交流负载两端接 *RC* 保护，见图 5-38。

表 5-6　FR—500 /700 系列变频器的 DO 信号及含义

信号代号	作　　用	型号							
		S500	E500	F500J	F540	A540	V540	F740	A740
标准 DO 信号(集电极开路输出)数量		1	2	1	5	5	5	5	5
RUN	状态。1,运行;0,停止	○	○	○	○	○	○	○	○
FU	设定频率。1,输出频率大于参数设定频率;0,输出频率小于参数设定频率	×	○	×	○	○	○	○	○
SU	变频器动作。1,动作完成;0,动作中	×	×	×	○	○	○	○	○
OL	过电流报警。1,失速保护生效时出现过电流;0,电流正常	×	×	×	○	○	○	○	○
IPF	瞬时停电。1,出现瞬时停电	×	×	×	○	○	○	○	○
标准 DO 信号(继电器输出)数量		1	1	1	1	1	1	2	2
A-B-C	A-C 变频器报警,触点通:变频器报警	○	○	○	○	○	○	×	×
	B-C 变频器报警,触点通:变频器正常	○	○	○	○	○	○	×	×
A1-B1-C1	A1-C1 变频器报警,触点通:变频器报警	×	×	×	×	×	×	○	○
	B1-C1 变频器报警,触点通:变频器正常	×	×	×	×	×	×	○	○
A2-B2-C2	A2-C2 功能可定义常闭触点	×	×	×	×	×	×	○	○
	B2-C2 功能可定义常开触点	×	×	×	×	×	×	○	○

注：○—默认设定；×—未设定或不可用。

表 5-7　FR—500 /700 系列变频器开关量技术参数

项　　目	继电器输出	晶体管输出
最大电压	AC 200V；DC 30V	DC 24V
最大输出驱动电流	0. 3A	≤0. 1A
输出开路漏电流	—	0. 1mA/24V
输出最小负载	2mA/DC 5V	—
输响应时间	≈10ms	≤0. 2ms
隔离	触点，机械式隔离	光耦合隔离

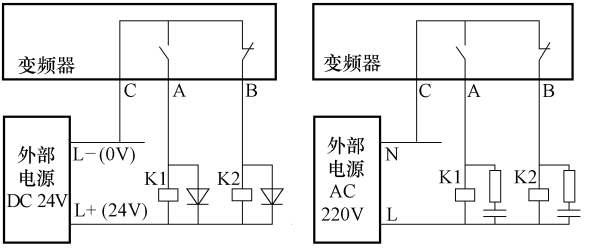


图 5-38　触点输出与外部连接

（3）集电极开路晶体管输出　FR—500/700 系列变频器其他输出信号为 NPN 型集电极开路输出，见图 5-39，0V 为输出公共端，注意电源与公共端的连接。晶体管驱动允许负载电压 DC 5 ~ 30V、负载电流不大于 0. 1A。晶体管输出驱动感性负载时，负载两端要连接二极管。

2. 常用输出信号

（1）准备好与运行信号　由 Pr190 ~ Pr196 设定，在变频器开关量输出获得“准备好”与“运行”信号，如 RY、RY2、RUN1、RUN2、RUN3。

① 选择 *U/f* 控制或开环控制。此时不能用 RY2 信号，RUN 与 RUN2 作用相同。信号输出时序见图 5-40。变频器接电源后如无故障，初始化结束，输出准备好信号 RY；当 STF/STR 加入，变频器输出“运行”信号 RUN3，此信号在变频器工作状态总是“1”；当外部频率给定指令，如 RH 输入，且变频器输出频率大于 Pr13 设定的起动频率时，变频器“运行起动”信号 RUN（RUN2）输出“1”，此时信号只有在变频器处于频率输出控制状态时才为“1”；等待速度给定指令、直流制动阶段为“0”。

② 选择矢量控制方式。控制方式包括开环或闭环，RY2 是电动机预备励磁；RUN 是变频器运行；RUN2 是变频器励磁；RUN3 是变频器转向控制信号输入。信号输出时序见图 5-41。变频器接电源后如无故障，初始化复

位结束，即输出 RY；如变频器预备励磁不用专门输入信号 LX，则 STF/STR 加入，变频器立即对电动机预励磁，输出频率为“0”但输出电压上升，同时变频器输出“运行”信号 RUN2、RUN3。只要转向控制信号保持，RUN3 输出总“1”；而 RUN2 信号在变频器输出关闭（MRS 信号生效）或保护功能动作时将成为“0”，如预备励磁使用 LX，则 RUN2 信号在预备励磁信号生效后 100ms 输出“1”；当外部频率给定指令如 RH 输入，且变频器输出频率大于 Pr13 设定的频率时，“运行起动”信号 RUN 输出“1”，此信号只有在变频器处于频率输出控制状态时才为“1”；在等待速度给定指令、输出关闭、自动调整、直流制动等动作执行时均为“0”。

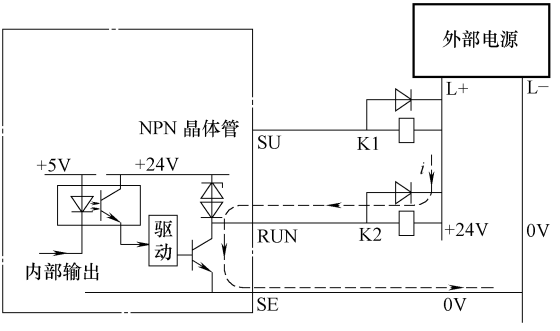


图 5-39　晶体管输出与外部连接

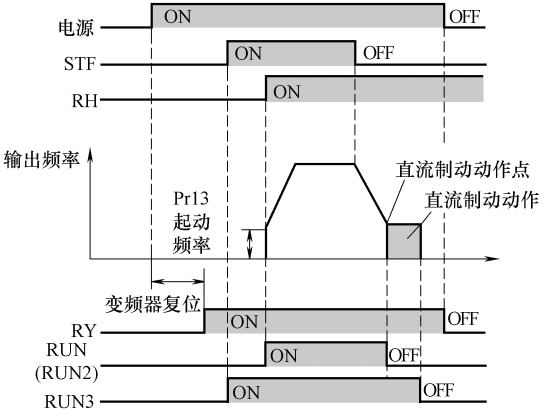


图 5-40　*U/f* 控制与开环磁通控制时的信号

（2）报警输出信号　FR—700 系列中，可用 3 个报警信号 ALM、ALM2 与 Y91，由 Pr190～Pr196 设定。ALM2 具有保持功能，报警被清除、恢复运行后才重新输出“0”；ALM 只要变频器外部加入复位信号，便为“0”，见图 5-42。Y91 在变频器发生需要直接切断主电源的严重报警时输出为“1”，包括变频器内部过热（E. IOH）、CPU 出错（E. CPU、E. E6、E. E7）、存储器故障（E. PR、E. PE2）；DC24V 短路（E. P24）；操作面板或 RS485 电源短路（E. CTE）；输出对地短路（E. GF）；输出断相（E. LF）；制动晶体管故障（E. BE）等。

（3）状态输出信号　正常运行时通过 Y30、Y31、Y32 输出实际转向与制动信号（闭环矢量控制），见图 5-43，一旦 Y32 有输出，至少需保持 100ms。

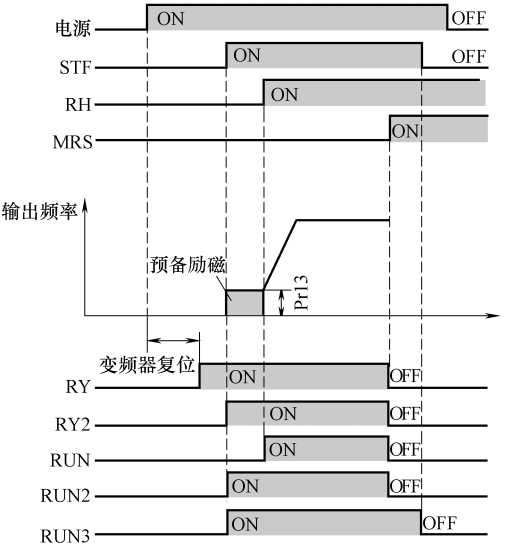


图 5-41　矢量控制时信号输出

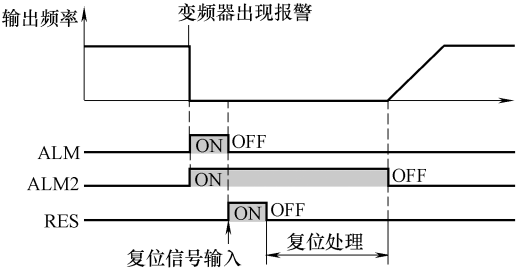


图 5-42　ALM/ALM2 信号输出

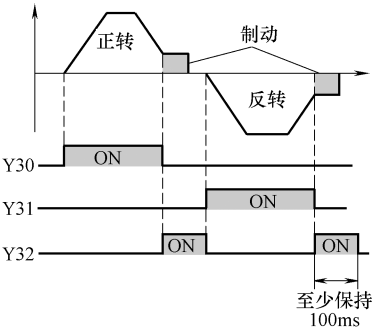


图 5-43　状态输出信号

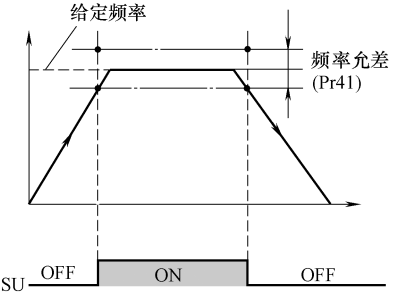


图 5-44　给定频率到达信号

（4）远程控制输出 REM 信号　此为 FR—700 系列变频器的功能。REM 可将部分变频器内部状态用开关量控制，由 Pr495 设定。Pr495 = 0，变频器复位、电源切断时清除 REM 信号；Pr495 = 1，复位时清除 REM 信号，电源切断时信号保留；Pr495 = 10，电源切断时清除 REM 信号，变频器复位时信号保留；Pr495 = 11，变频器复位、电源切断时均保留 REM 信号。Pr496、Pr497 为 REM 信号输出内容选择，可进行二进制位设定，见表 5-8，为在 REM 输出相应信号，应将该位设为“1”。

表 5-8　REM 信号输出内容选择

位号/bit	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Pr496	0	0	0	0	0	ABC2	ABC1	FU	OL	IPF	SU	RUN
Pr497	0	0	RA3	RA2	RA1	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0

3. 速度与转矩检测信号

（1）速度检测　设定速度（频率）检测，供外部控制使用，信号比较基准由参数进行设定。*U/f* 控制方式时，变频器实际输出频率；开环磁通控制方式时，转差补偿前输出频率；开环矢量控制方式时，根据电动机模型预测电动机转速；闭环控制方式时，实际速度反馈。

① 给定频率到达信号。变频器第 1 组电动机可使用给定频率到达信号，变频器实际输出频率到达给定频率允差范围时输出“1”，由 Pr41 设定，见图 5-44。

② 频率检测信号。用于输出频率检查，可用 FU、FU2、FU3 或 FB、FB2、FB3 与 LS 共同构成 4 种方式输出。信号 FU、FU2、FU3 或 FB、FB2、FB3 在实际输出频率大于参数设定时为“1”，见图 5-45；信号 LS 在输出频

率小于参数设定值时为“1”，见图 5-46。

频率检测信号 FU、FU2、FU3 或 FB、FB2、FB3 与给定频率到达信号有区别，前者只设定阈值，不设定允差，而且可对第 1、第 2、第 3 组电动机的控制分别由 Pr42、Pr50、Pr116 设定比较阈值。后者 LS 只设定阈值，不能设定允差，输出频率小于 Pr865 设定阈值时输出“1”。

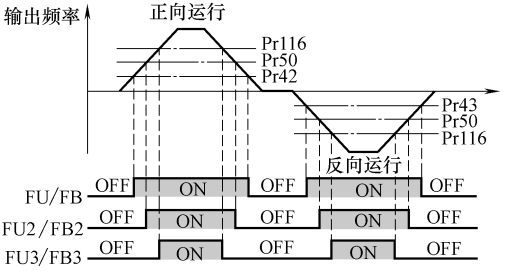


图 5-45　频率检测信号 FU/FB

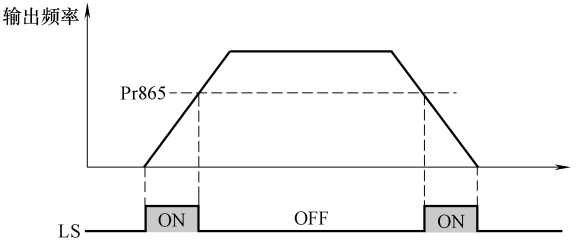


图 5-46　频率检测信号 LS

（2）电流检测

① 输出电流信号。用于过载检测，变频器实际输出电流大于 Pr150 设计值且保持时间大于 Pr151 设定时，Y12 = 1，即使变频器电流立即低于设定值，信号仍能继续保持 100ms 以上，由 Pr166 设定，见图 5-47。

② 零电流检测信号。用于外部机械制动器控制，输出电流为 0 时变频器对电动机不控制。需要保持停止状态时，要外部机械装置进行制动。零电流检测信号 Y13 在变频器实际输出电流小于 Pr152 设定值且保持时间大于 Pr153 设定时，Y13 = 1，即使变频器电流立即上升超设定值，信号也要继续保持 100ms，见图 5-48。

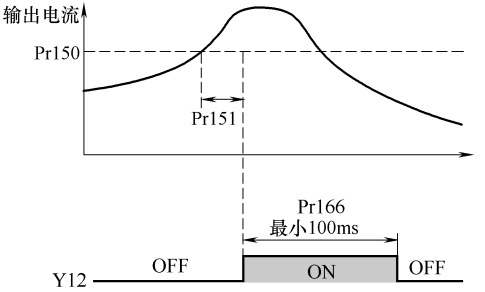


图 5-47　输出电流到达信号

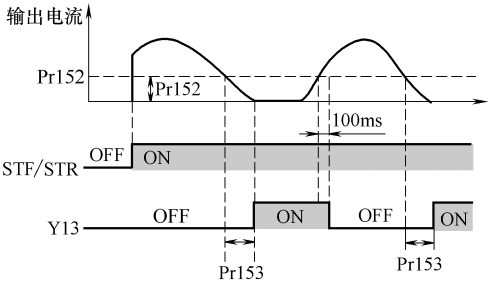


图 5-48　零电流检测信号

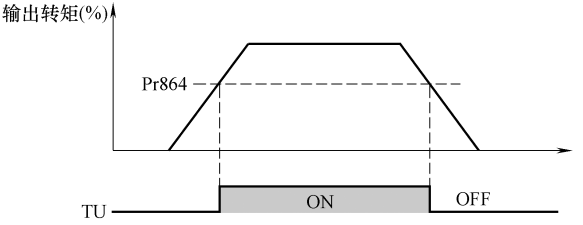


图 5-49　转矩检测信号

③ 转矩检测信号。用于矢量控制，功能与电流检测信号相同。实际输出电流大于 Pr864 设定值时，以额定转矩百分比进行设定，转矩检测输出信号 TU = 1，否则，TU = 0。TU 无检测延时与保持延时，见图 5-49。

五、系统闭环回路

1. 闭环反馈模块的连接

FR—A540/A740 系列变频器可通过闭环反馈模块 FR—A5AP/A7AP 连接速度和位置检测编码器。FR—A7AP 闭环反馈模块的外形见图 5-50。FR—A5AP/A7AP 有编码器类型开关 SW1 和终端电阻开关 SW2。SW1 用于

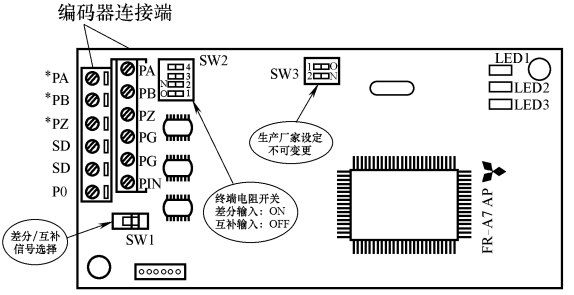


图 5-50　FR—A7AP 闭环反馈模块的外形

选择编码器信号类型；SW2 用于连接内部终端电阻；SW3 固定不改变。

2. 差分输出编码器的选择

当编码器信号为 3 通道、6 信号线驱动差分输出时，模块设定与编码器信号连接见图 5-51，此时应将反馈模块的编码器类型选择开关 SW1 置“差分”，将终端电阻开关 SW2 置 ON；并将编码器的 PA/□PA、PB/□PB、PZ/□PZ 信号分别接到反馈模块的 PA1/PA2、PB1/PB2、PZ1/PZ2 端子。检测编码器电源需要外部提供，DC 5V 正极接 PG 端，负极接 SD。

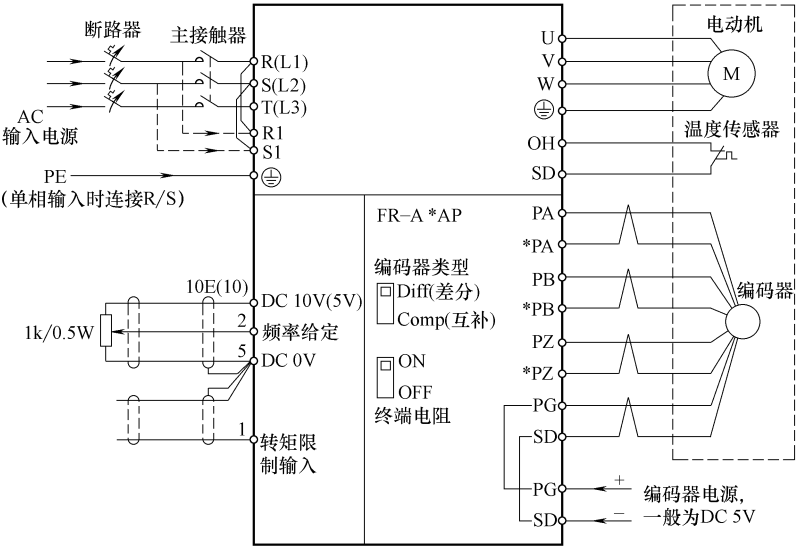


图 5-51　反馈模块的驱动信号连接

3. 集电极开路输出编码器的连接

当编码器信号为 3 通道、3 信号集电极开路输出时，模块设定与编码器信号连接见图 5-52。SW1 置“互补”、SW2 置“OFF”，并将编码器 PA、PB、PZ 信号分别接到反馈模块的 PA1、PB1、PZ1 端；模块 PA2、PB2、PZ2 端子不连接。检测编码器电源也需要外部提供，DC5V/12V/24V 正极接 PG 端，负极接 SD。

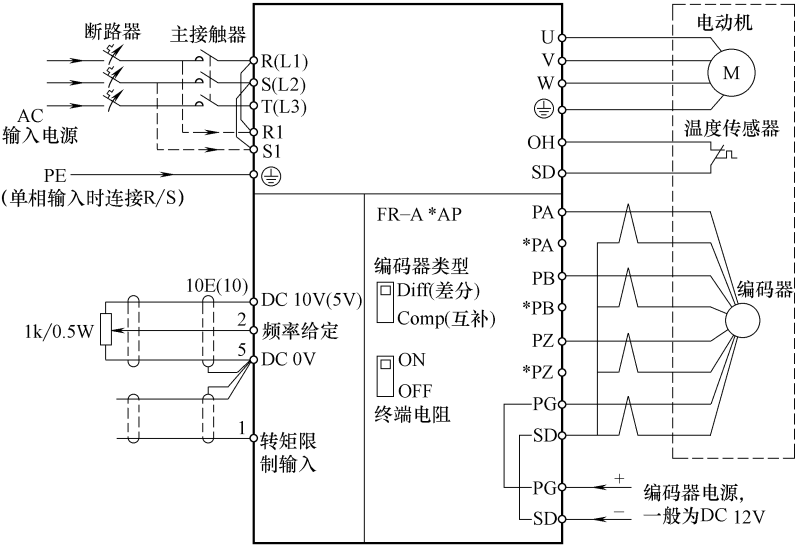


图 5-52　反馈模块的互补信号连接

第四节　三菱典型变频器的运行与操作

已经介绍了 E500、A540、A740 系列变频器，FR—S500/F500 系列可参考 E500、FR—F500/V500 系列可参考 A540，FR—F740 系列可参考 A740，更具体的参数设定参见相关产品手册。

一、操作模式与运行方式

外部提供起动、停止、转向等信号，给定频率、转矩、位置值，用于控制输出频率、转矩、输出位置。操作模式含起动/停止、转向等；运行方式有改变输出频率或转矩、位置等；操作模式分为外部操作、PU 操作、网络操作、程序运行 4 种；运行方式分为无级变速、点动、多级变速运行、远程控制等，见表 5-9。

表 5-9　变频器的操作模式与运行方式一览表

操作方式	转向控制	运行方式	频率给定	连接信号	运行控制	E500	A540	A740
外部	STF、STR	无级变速	外部模拟量输入	STF、STR；2/5、4/5、1/5	频率调节：外部模拟量 转向控制：STF/STR	○	○	○
			PU 调节	STF、STR	频率调：PU 单元 转向控制：STF/STR	○	○	○
			通信输入	STF、STR；RS485 接口	频率：通信接口输入 转向控制：STF/STR	*	*	*
		JOG 操作	变频器内部设定	STF、STR；JOG	频率调节：变频器设定 转向控制：STF/STR	○	○	○
		多级变速	RH/RM/RL 选择	STF、STR；RH、RM、RL	频率调节：RH/RM/RL 转向控制：STF/STR	○	○	○
		远程控制	RH/RM 调节	STF、STR；RH、RM、RL	频率调节：RH/RM 转向控制：STF/STR	○	○	○
PU	【FWD/REV】键（PU 上）	无级变速	外部模拟量输入	2/5、4/5、1/5	频率调节：外部模拟置 转向控制：【FWD/REV】键	○	○	○
			PU 调节	PU 单元	频率调节：PU 单元 转向控制：【FWD/REV】键	○	○	○
		JOG 操作	变频器内部设定		频率调节：变频器设定 转向控制：【FWD/REV】键	○	○	○
		多级变速	RH/RM/RL 选择	RH、RM、RL	频率调节：RH/RM/RL 转向控制：【FWD/REV】键	○	○	○

（续）

操作方式	转向控制	运行方式	频率给定	连接信号	运行控制	E500	A540	A740
PU	【FWD/REV】键（PU 上）	远程控制	RH/RM 调节	RH、RM、RL	频率调节：RH/RM 转向控制：【FWD/REV】键	○	○	○
程序运行	内部程序	程序控制	程序指定	程序信号： RH、RM、RL 程序启动：STF 复位：STR	按照内部程序运行	×	○	×
网络操作	通信接口	无级变速	外部模拟量输入	RS485 接口； 2/5、4/5、1/5	频率调节：外部模拟量 转向控制：通信接口	*	*	*
			通信输入	RS485 接口	频率：通信接口输入 转向控制：通信接口	*	*	*
		JOG 操作	变频器内部设定	RS485 接口； JOG	频率：变频器内部设定 转向控制：通信接口	○	○	○
		多级变速	RH/RM/RL 选择	RS485 接口； RH、RM、RL	频率调节：RH/RM/RL 转向控制：通信接口	○	○	○
		远程控制	RH/RM 调节		频率调节：RH/RM 转向控制：通信接口	○	○	○

注：○——基本功能；*—选择功能，需相应的选件配套；×—无此功能。

1. 操作模式

（1）外部操作　即 EXT 操作，通过面板或外部按钮、PLC、控制电路等开关量，控制变频器起动/停止、转向，见图 5-53。可实现无级变速、点动运行、多级变速、远程控制等。外部操作模式有 3 种。

① 完全外部操作。输入信号 STF、STR、STOP，外部模拟量输入频率给定方式为完全外部操作或外部操作，见图 5-54。

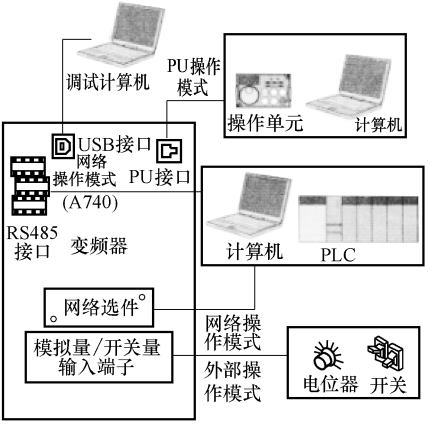


图 5-53　三菱变频器操作模式

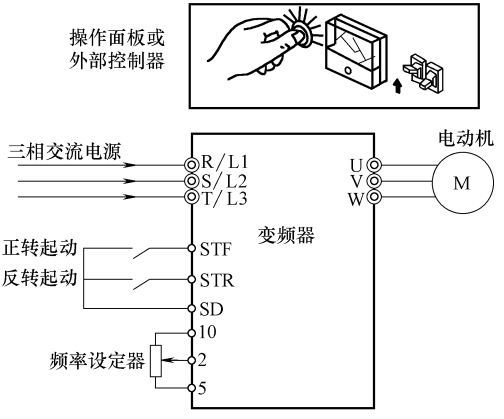


图 5-54　外部操作模式

② 外部/PU 组合操作。外部开关量输入信号时，频率给定由 PU 或数字操作键写入，见图 5-55。

③ 外部/网络组合操作。外部开关量输入信号时，频率给定由通信接口数据输入。

（2）PU 操作模式　PU 单元按键操作，转向、起动、停止信号由 PU 的“STOP/RUN”、“FWD/REV”操作。“完全 PU 操作模式”时，频率给定输入直接由 PU 或数字量输入，见图 5-56。PU/外部组合操作时，频率输入为外部模拟量输入信号、JOG 信号、多级信号、远程信号，见图 5-57。

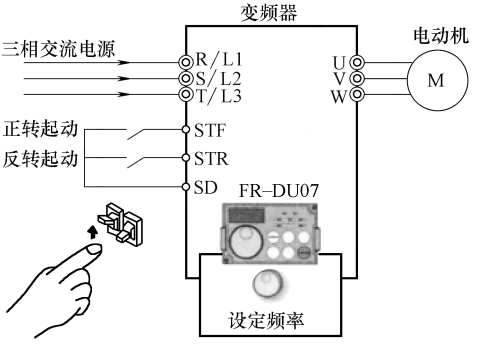


图 5-55　外部/PU 组合操作模式

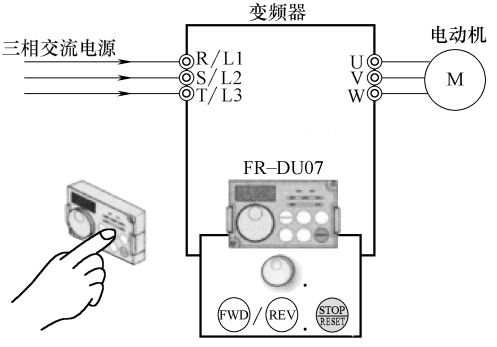


图 5-56　完全 PU 操作模式

（3）网络操作模式　即 ET 操作，通过 RS485 或具有 RS485 的 PU 接口，输入起动/停止与转向信号，见图 5-58，用于 PLC、CNC、计算机等网络系统。也可用外部模拟量输入信号、JOG 信号、多级信号、远程控制信号等作

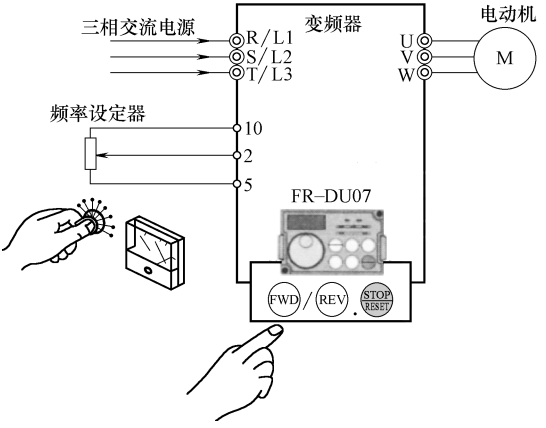


图 5-57　变频器的 PU/外部组合操作模式

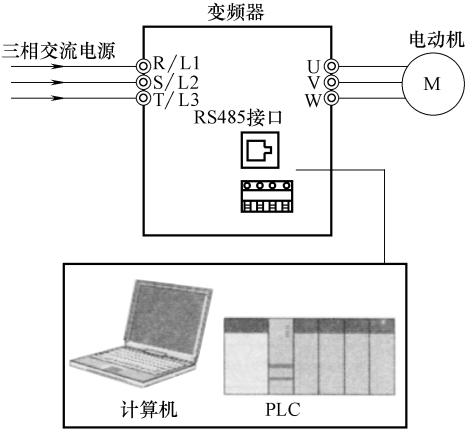


图 5-58　变频器的网络操作模式

为频率输入，故称为网络/外部组合操作模式，见图 5-59。

（4）程序操作模式　仅 FR—A540 系列变频器需要预先编制程序。FR—A540系列变频器可存储 3 组、每组 10 条程序，包含起动时间、转向、运行频率。运行程序在 Pr200 ~ Pr231 中，由外部开关量实现程序选择、起动、复位，见图 5-60。程序运行中用变频器内部定时器控制，单个程序总时间由 Pr200 选择，每组最长运行 100min 或 100h。

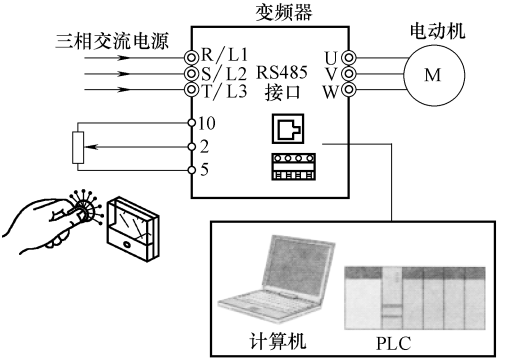


图 5-59　网络/外部组合操作模式

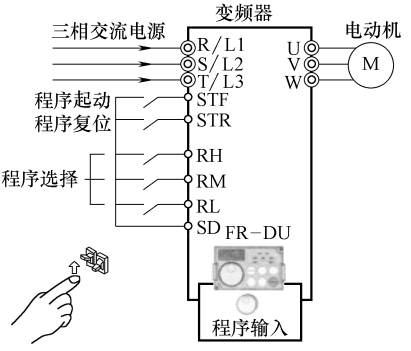


图 5-60　程序操作模式

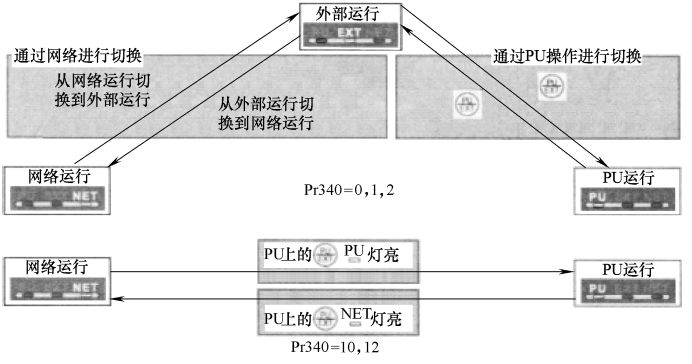


图 5-61　FR—700 系列操作模式的切换

（5）操作模式的切换　由外部开关量 X65/X66、PU 操作键【PU/EXT】或通信操作，见图 5-61。切换控制由 Pr79、Pr340 设定与选择。

2. 运行方式

（1）无级变速　变频器输出频率可根据模拟量输入连续改变，见图 5-62。无级变速运行时，频率给定来自外部电压或电流输入，也可操作 PU 电位器或数字量输入或 RS485 接口。

（2）多级变速　用于固定和多速控制。可由外部开关量信号直接选择固定速度，由参数设定，见图 5-63。

（3）点动　即 JOG 操作，由转向信号控制变频器起动/停止，无记忆，见图 5-64。E500 点动只能由操作单元选择，并通过 RUN 键、FWD/REV 键起动与运行，Pr15 设点动频率；A540 与 A740 点动可由 PU 控制，也可 JOG 选择，并通过 STF/STR 控制起动、停止与转向。点动加减速时间由 Pr16 设定。

（4）远程控制　一般用于变频器、控制面板与控制电动机之间的距离较远，又需要在电动机侧、负载侧或其他场所对速度进行现场调节。频率用 RH、RM 连续升降与选择，见图 5-65，调节后频率被存储，作以后运行给定值。

3. 操作模式与运行方式选择

由参数设定选择，变频器的操作模式与运行方式基本参数见表 5-10。变频器与操作模式直接相关参数 Pr79、Pr340 的设定与选择，见表 5-11。

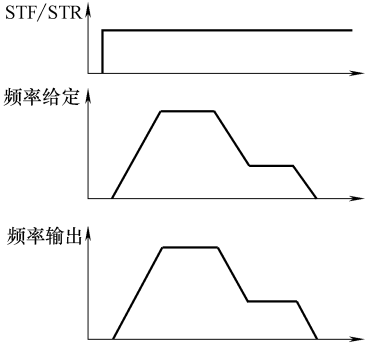


图 5-62　无级变速运行方式

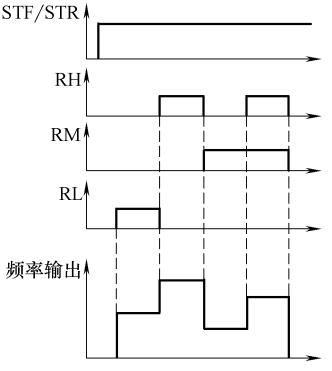


图 5-63　多级变速运行方式

二、运行频率给定与相关参数

1. 频率指令方式

通过“频率给定”控制变频器。用外部模拟电压或电流，指定或调节输出频率；PU 直接输入数据或通过 PU 调节输出频率值；外部速度选择信

号，选择内部参数设定的固定频率值，有级变速；通过 JOG 或 PU 选择点动，设定点动频率；通过远程输入信号，改变与设定运行频率；通过通信接口频率给定输出频率值；根据程序需要，自动改变输出频率。

表 5-10　变频器的操作模式与运行方式基本参数

参数	功　　能	E500	A540	A740	设定范围	说明	出厂设定
Pr59	远程控制方式选择	○	○	○	0、1、2	0,无效； 1/2,远程控制有效	0
Pr79	操作模式/运行方式选择	○	○	○	0～8	见下述	
Pr338	变频器操作模式(网络控制时,起动/停止与转向控制信号来源)	×	×	○	0/1	0,网络输入； 1,外部输入	
Pr339	网络控制时,变频器频率给定信号来源	×	×	○	0、1、2	0,网络输入； 1/2,外部输入	
Pr340	网络操作模式选择	×	×	○	0/1/2、11/12	—	
Pr550	网络通信接口选择	×	×	○	0、1、9999	0,网络选件接口； 1,RS485 接口； 9999,自动识别	9999
Pr551	操作单元(PU)连接接口选择	×	×	○	1、2、3	1,RS485 连接 PU,PU 接口连接网络； 2,使用 PU 接口； 3,使用 USB 接口	2

注：○—具备功能；×—无此功能。后同。

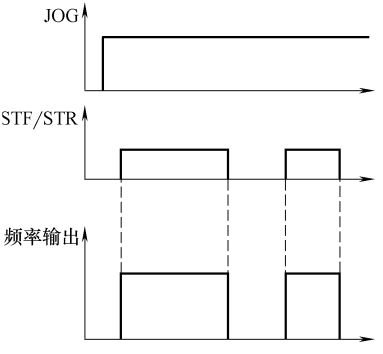


图 5-64　点动操作运行方式

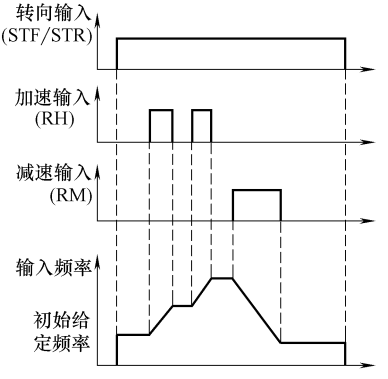


图 5-65　远程控制运行方式

率。实际使用时，用外部电压或电流控制并实现无级变速；调试时，一般用PU模式；也可用于特定控制的其他方式。FR—500系列变频器的频率给定由Pr59、Pr79选择；FR—700系列变频器增加了Pr339、Pr340。Pr59、Pr78、Pr79、Pr339、Pr340的功能见表5-12。

表5-11　变频器与操作模式直接相关参数Pr79、Pr340的设定与选择

Pr340设定	Pr79设定	运行方式	E500	A540	A740	含　义
0	0	PU操作、外部操作模式可转换	○	○	○	由PU转换“PU操作/外部操作”方式
	1	PU操作	○	○	○	由PU控制变频器运行
	2	外部操作	○	○	○	外部频率输入、方向信号控制运行
	3	外部/PU操作组合模式	○	○	○	由PU给定频率;外部信号控制转向
	4	PU/外部操作组合模式	○	○	○	通过PU【FWD/REV】键控制方向;外部多级变速输入给定转速
	5	程序运行模式	×	○	×	可设10个运行时间与3组转向/频率,见Pr200~Pr231
	6	可切换运行模式	○	○	○	运行中可PU操作、外部操作切换
	7	切换可禁止运行模式	×	○	○	X12(EMS)=1可外部切换到PU; X12(EMS)=0禁止切换,固定为外部操作
	8	控制切换运行模式	○	○	×	由外部入X16进行PU/外部操作切换
1、2	0	网络操作模式	×	×	○	同Pr340=0,Pr340=2时,发生瞬时断电时可以维持断电前的运行状态
	1	PU操作	×	×	○	
	2	网络操作模式	×	×	○	
	3	外部/PU操作组合	×	×	○	
	4	PU/外部操作组合	×	×	○	
	5	程序运行模式	×	×	○	
	6	网络操作模式	×	×	○	
	7	切换可禁止运行	×	×	○	

（续）

Pr340设定	Pr79设定	运行方式	E500	A540	A740	含义
11、12	0	网络操作/PU模式	×	×	○	同 Pr340 = 0，Pr340 = 12时，发生瞬时断电时可以维持断电前的运行状态
	1	PU操作	×	×	○	
	2	网络操作模式	×	×	○	
	3	外部/PU操作组合	×	×	○	
	4	PU/外部操作组合	×	×	○	
	5	程序运行模式	×	×	○	
	6	网络操作模式/PU	×	×	○	
	7	外部操作模式	×	×	○	

表 5-12　变频器的频率给定设定参数的功能

参数	名称	设定值与频率给定来源选择	E500	A540	A740
Pr59	远程控制	0，远程控制无效，Pr79 定频率 1，远程有效、频率可存储 2，远程有效，频率存储功能无效	○	○	○
Pr78	转向禁止	0，正/反转；1，只正转；2，只反转	○	○	○
Pr79	操作模式/运行方式选择	0，PU 或外部模拟量输入连续调节（可转换）	○	○	○
		1/3，操作单元（PU）连续调节	○	○	○
		2，外部模拟量输入连续调节	○	○	○
		4，多级变速输入	○	○	○
		5，内部程序	×	○	×
		6，PU 或外部模拟量输入可切换	○	○	○
		7，可禁止切换到 PU 的给定方式	○	○	○
		8，外部信号 X16 进行 PU 操作/外部操作切换	○	○	○
Pr339	网络控制的频率	0，网络输入有效	×	×	○
Pr340	网络操作模式选择	0，网络方式无效，频率由 Pr79 定义 1/2/11/12，Pr79 设定为 0/2/6 时，频率给定来自网络接口输入	×	×	○

2. 频率范围

最高与最低转速时通过变频器输出的频率范围，即上下限频率限制。表

5-13 表示由参数定义输出频率范围。这里共有两对设定参数，Pr1/Pr2 与 Pr18/Pr13，其中 Pr18/Pr13 是实际能输出的最大/最小频率；Pr1/Pr2 是频率给定输入信号指定的最大/最小频率。Pr1/Pr2 与 Pr18/Pr13 的设定见图 5-66。

表 5-13　输出频率范围设定参数

参数号	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	出厂设定
Pr1	最高输出(上限)频率	○			0～120Hz	120
Pr2	最低输出(下限)频率	○			0～120Hz	0
Pr18	最大允许输出频率	○			120～400Hz	120
Pr13	最小允许输出频率(起动频率)	○			0.01～60Hz	0.5
Pr571	起动延时	×	×	○	0～10.0s	9999

注：○—具备功能；×—无此功能。

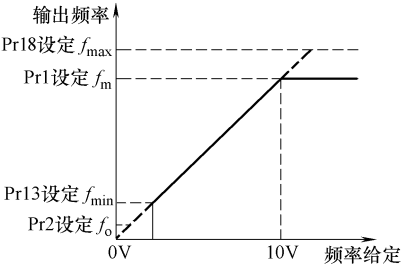


图 5-66　频率输出范围的设定

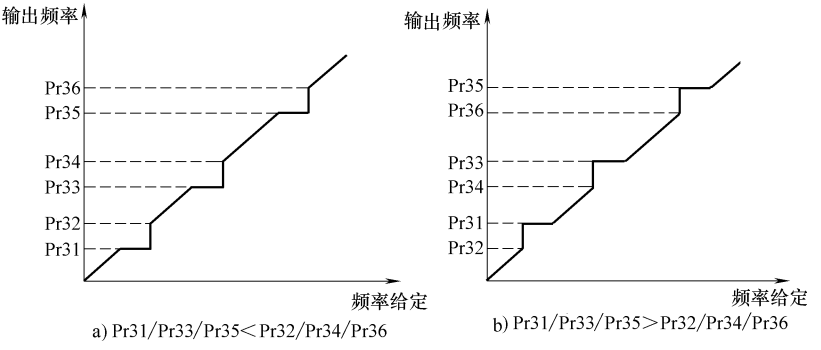


图 5-67　输出频率跳变功能

（1）最大频率设定

① 当最大频率不大于 120Hz 时，先设 Pr18 = 120；再设定 Pr1 给定频率为最大值，即上限频率。

② 当要求最大输出频率大于 120Hz 时，先设定 Pr18 输出频率最大允许值，再设定 Pr1 频率给定为最大值。

（2）最小频率设定　Pr2 是给定为最小值时的输出频率；Pr13 是实际输出最低频率。

① 当 Pr2 不大于 Pr13 时，如频率给定小于 Pr13 设定值，则给定输入无效。

② 当 Pr2 大于 Pr13 时，Pr13 决定变频器实际输出最小频率。此时即使频率给定小于 Pr2 设定值，但只要有正/反转信号输入，电动机仍可输出 Pr13 设定的频率。

（3）起动延时设定　闭环控制的 FR-A740 系列变频器，如设定 Pr571，则当 STF/STR 输入后，可先对电动机初始励磁，即变频器有输出电压而输出频率为 0，在延迟时间到后输出频率开始加速上升。

（4）频率跳变区设定　无级调速时，可能存在引发机械共振的区域，此时可用“频率跳变区设定”加以避免。由 Pr31/32、Pr33/34、Pr35/36 设定 3 个跳变区域时，当频率给定处于所设定跳变区域时，变频器自动将输出频率转为跳变区间上或下限频率运行。当 Pr31、Pr33、Pr35 小于 Pr32、Pr34、Pr36 设定时，输出频率转换为 Pr31、Pr33、Pr35 设定值，见图 5-67a；当 Pr31、Pr33、Pr35 大于 Pr32、Pr34、Pr36 设定时，输出频率仍按 Pr31、Pr33、Pr35 设定值运行，但已转为上限值，见图 5-67b。频率跳变区域的参数设定见表 5-14。

表 5-14　频率跳变区域的参数设定

参数号	名　称		E500	A540	A740	设定范围
Pr31	频率跳变区域 1	设定值 A	○	○	○	0～400Hz
Fr32		设定值 B	○	○	○	
Pr33	频率跳变区域 2	设定值 A	○	○	○	
Pr34		设定值 B	○	○	○	
Pr35	频率跳变区域 3	设定值 A	○	○	○	
Pr36		设定值 B	○	○	○	

（5）转向限制　只允许电动机单向转时，Pr78 = 0，允许正/反转；Pr78 = 1，正转；Pr78 = 2，反转。可用 PU、外部和通信实现相关操作。

3. 频率给定设定参数

对连续调节，频率给定是模拟量；对多级变速、点动、程序运行，应根据外部开关量输入，选择输出频率。参数设定与选择包含输入类型、输出频

率、频率给定增益与偏移调整等。频率给定的参数设定见表 5-15。

表 5-15　频率给定的参数设定

参数	名　　称	E500	A540	A740	设 定 范 围
模拟量输入给定					
Pr38	10V(5V)电压对应的频率	○	×	×	0～400Hz
Pr39	20mA 电流对应的频率	○	×	×	
Pr73	频率给定指令选择	○	○	○	0～15
Pr74	频率给定滤波时间	○	○	○	0～8ms
Pr125	2/5 端最大电压输入时的频率(增益)	×	×	○	0～400Hz
Pr126	4/5 端最大电流输入时的频率(增益)	×	×	○	
Pr242	模拟量输入 1/5 对输入 2/5 的补偿	×	×	○	0%～100%
Pr243	模拟量输入 1/5 对输入 4/5 的补偿	×	×	○	
Pr245	电动机额定转差(转差补偿功能)	○	×	×	0%～50%
Pr246	转差补偿响应时间	○	×	×	0.01～10s
Pr247	高速转差补偿选择	○	×	×	0,大于额定频率时无效; 9999,有效
Pr252	速度倍率调节下限	×	○	○	0～200%
Pr253	速度倍率调节上限	×	○	○	
Pr267	模拟量输入端 4/5 输入类型	×	×	○	0～2
Pr858	模拟量输入端 4/5 功能	×	×	○	
Pr868	模拟量输入端 1/5 功能	×	×	○	0～6
Pr902	模拟量输入端 2/5 偏移调整	○	○	○	多参数设定, 需通过操作进行
Pr903	模拟量输入端 2/5 增益调整	○	○	○	
Pr904	模拟量输入端 4/5 偏移调整	○	○	○	
Pf905	模拟量输入端 4/5 增益调整	○	○	○	
Pr917	模拟量输入端 1/5 偏移调整(频率给定)	×	×	○	

（续）

参数	名　　称	E500	A540	A740	设 定 范 围
模拟量输入给定					
Pr918	模拟量输入端 1/5 增益调整(频率给定)	×	×	○	多参数设定，需通过操作进行
Pr919	模拟量输入端 1/5 偏移调整(转矩给定)	×	×	○	
Pr920	模拟量输入端 1/5 增益调整(转矩给定)	×	×	○	
多级变速/频率设定					
Pr4 ~ Pr6	多级变速频率设定 1	○	○	○	0 ~ 400Hz
Pr24 ~ Pr27	多级变速频率设定 2	○	○	○	
Pr23 ~ Pr239	多级变速频率设定 3	○	○	○	
Pr28	多级变速频率倍率调节功能	×	○	○	0/1
远程控制与点动频率设定					
Pr15	点动运行频率	○	○	○	0 ~ 400Hz
Pr59	远程控制功能选择	○	○	○	0,远程控制方式无效 1,远频控制/频率存储功能同时有效 2,远程控制有效,频率存储功能无效
程序运行方式					
Pr79	程序运行	×	○	×	必须设定为 5
Pr76	程序运行信号输出	×	○	×	必须设定为 3
Pr200	内部程序运行时间选择	×	○	×	0,时间单位 min,监视电压 1,时间单位 h,监视电压 2,时间单位 min,监视时间 3,时间单位 h,监视时间
Pr201 ~ Pr210	第 1 组内部程序	×	○	×	多参数设定。转向:“0”停止;“1”正转;“2”反转 频率 0 ~ 400Hz 起动时间设定 0 ~ 99;59
Pr211 ~ Pr220	第 2 组内部程序	×	○	×	
Pr221 ~ Pr230	第 3 组内部程序	×	○	×	
Pr231	内部程序运行时间基准	×	○	×	0 ~ 99;59

三、模拟量输入

1. 功能与范围选择

作变频器速度（频率）输入或辅助速度给定输入时，各系列变频器的

模拟量输入量、范围、功能均不同。

（1）FR—E500 系列　模拟量输入简单，只有两组输入端接 2/5 与 4/5。输入端功能与信号类型固定。信号功能固定为频率输入，2/5 端为电压输入；4/5 端为电流输入。默认频率给定电压输入端 2/5，当需将电流输入端 4/5 作频率输入时，由 AU 选择。AU = 0，2/5 端电压输入为频率；AU = 1，4/5 端电流输入为频率，电流为 4 ~ 20mA。2/5 端输入电压时，Pr73 = 0，2/5端电压为 0 ~ 5V；Pr73 = 1，2/5 端电压为 0 ~ 10V。模拟量输入与输出频率间对应关系通过“增益”与“偏移”调整。Pr38（端 2/5）与 Pr39（端 4/5）用于设模拟量输入最大值时（10V/5V 或 20mA）对应的输出频率（基本增益）；在此基础上用 Pr902/Pr903（输入端 2/5）与 Pr 904/Pr905（输入端 4/5）对特性的增益与偏移调整。

（2）FR—A540 系列　有 2/5、1/5、4/5 输入端，由 Pr73 选择，作频率给定输入（主速）、速度倍率输入与补偿输入（辅助给定）等。Pr73 设定值与模拟量输入端选择、范围对应关系见表 5-16。

表 5-16　FR—A540 系列变频器模拟量输入端功能选择

<table>
<tr><th rowspan="2">Pr73 设定</th><th rowspan="2">电压/电流选择信号 AU</th><th rowspan="2">频率(主速)输入(端子)</th><th rowspan="2">倍率输入(端子)</th><th rowspan="2">叠加输入</th><th rowspan="2">双极性功能</th><th colspan="3">频率给定输入范围</th></tr>
<tr><th>端子 2/5</th><th>端子 1/5</th><th>端子 4/5</th></tr>
<tr><td>0</td><td rowspan="15">0(OFF)</td><td rowspan="4">2/5</td><td>×</td><td rowspan="4">端子 1/5</td><td>×</td><td>0 ~ 10V</td><td rowspan="2">－10 ~ 10V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>1</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>2</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 10V</td><td rowspan="2">－5 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>3</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>4</td><td>1/5</td><td>2/5</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 10V</td><td>－10 ~ 10V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>5</td><td>1/5</td><td>2/5</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 5V</td><td>－5 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>10</td><td rowspan="4">2/5</td><td>×</td><td rowspan="4">端子 1/5</td><td>○</td><td>0 ~ 10V</td><td rowspan="2">－10 ~ 10V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>11</td><td>×</td><td>○</td><td>0 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>12</td><td>×</td><td>○</td><td>0 ~ 10V</td><td rowspan="2">－5 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>13</td><td>×</td><td>○</td><td>0 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>14</td><td rowspan="2">1/5</td><td rowspan="2">2/5</td><td>×</td><td>○</td><td>0 ~ 10V</td><td>－10 ~ 10V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>15</td><td>×</td><td>○</td><td>0 ~ 5V</td><td>－5 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>0</td><td rowspan="6">1(ON)</td><td rowspan="6">4/5</td><td>×</td><td rowspan="4">端子 1/5</td><td>×</td><td>×</td><td rowspan="2">－10 ~ 10V</td><td rowspan="6">4 ~ 20mA</td></tr>
<tr><td>1</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td></tr>
<tr><td>2</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td rowspan="2">－5 ~ 5V</td></tr>
<tr><td>3</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td></tr>
<tr><td>4</td><td>2/5</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 10V</td><td>×</td></tr>
<tr><td>5</td><td>2/5</td><td>×</td><td>×</td><td>0 ~ 5V</td><td>×</td></tr>
</table>

（续）

Pr73 设定	电压/电流选择信号 AU	频率(主速)输入(端子)	倍率输入(端子)	叠加输入	双极性功能	频率给定输入范围		
						端子 2/5	端子 1/5	端子 4/5
10	1(ON)	4/5	×	端子 1/5	○	×	－10～10V	－20～20mA
11			×		○	×		
12			×		○	×	－5～5V	
13			×		○	×		
14			2/5	×	○	0～10V	×	
15			2/5	×	○	0～5V	×	

注：○—可使用；×—不能使用。

FR—A540 系列变频器模拟量输入端作频率（主速）输入，还具有以下功能：

① 速度倍率功能。倍率功能生效后，Pr73 = 4/5/14/15，端 2/5 成为“倍率输入”，可对端 1/5 或 4/5 进行比例调节，端 2/5 输入电压不同可对应不同的倍率值。

② 双极性输入功能。改变模拟量输入极性可控制电动机进行正反转。功能生效后，Pr73 = 14/15，所选频率给定（主速）输入可用负电压（电流）输入。

③ 叠加输入功能。在模拟量输入端 1/5 加电压信号，将被叠加到主速输入。

2. 模拟量输入的增益与偏移调整

变频器输出频率与模拟量输入呈线性关系，输出频率与输入模拟量之比称为“增益”；模拟量输入为“0”时变频器对应的频率称为“偏移”。增益与偏移可由参数加以调整。

（1）模拟量输入增益调整

① FR—E500。基本增益由 Pr38 与 Pr39 设定，最大给定输入（10V/5V 或 20mA）对应的最高输出频率，见图 5-68。在此基础上还可再由 Pr903 或 Pr905 调整增益值，见图 5-69。

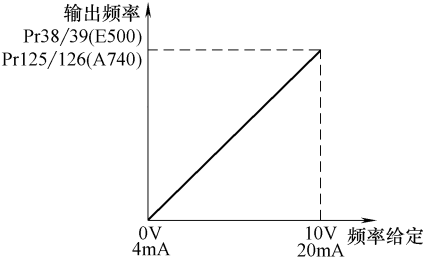


图 5-68 E500/A740 频率给定增益的设定

② FR—A740。Pr125（模拟电压输入端 2/5）与 Pr126（电流

输入端 4/5）设定基本增益，最大给定输入对应最高频率，见图 5-68。在此基础上还可由 Pr903—C4（电压端2/5）、Pr905—C7（电流端 4/5）调整最高输出频率对应的最大电压与电流，见图 5-69。当模拟量选择 1/5 时，增益调整为 Pr918 与 Pr920。

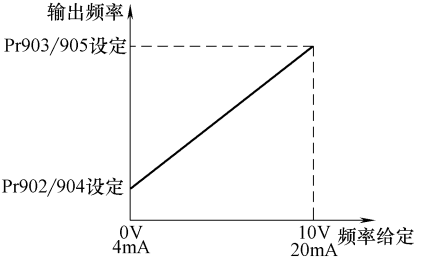


图 5-69　频率给定偏移与增益的调整

FR—700 系列输入端 2/5、4/5、1/5 还可设定输入信号为电压、电流和功能条的，如 Pr73、Pr858、Pr868 等。

③ FR—A540。最大给定电压（电流）及最大给定（10V/5V 或 20mA）对应的最高频率由 Pr903 或 Pr905 调整，见图 5-69。

（2）模拟量输入偏移调整　E500/A540/A740 偏移调整方法由 Pr902 或 Pr904 实现，见图 5-69。在 FR—A740 中，当模拟量输入端选择 1/5 时增益调整参数为 Pr917 与 Pr919。

（3）模拟量输入调整操作　校正 Pr902 ~ Pr905 设定，需要对 1 个参数同时定义“频率给定”与“频率输出”。

PU 选择参数设定，见图 5-70；Pr79 = 1 时为 PU 模式，见图 5-71；以 Pr903 变更设定参数，见图 5-72。

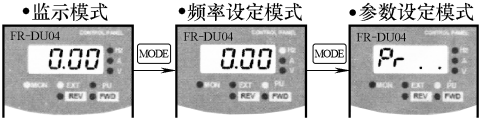


图 5-70　选择参数设定模式

3. 模拟量输入的倍率调整

FR—A540/A740 有 2/5 与 1/5 电压输入端同时使用。Pr73 = 4、5、14、15 时，电压端 2/5 定义为频率给定倍率调整输入，此时频率给定输入（主速）与倍率调节输入的乘积作为最终频率输入。可由 Pr252、Pr253 进行设定，Pr252 是输入为 0V 时的倍率值；Pr253 是最大值时倍率值，范围 0% ~

200%，见图 5-73。

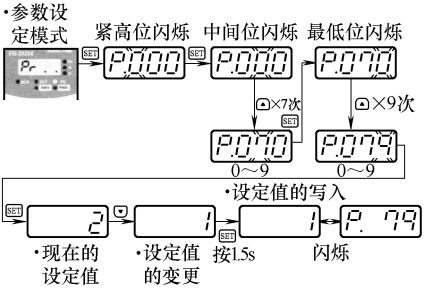


图 5-71　选 PU 操作

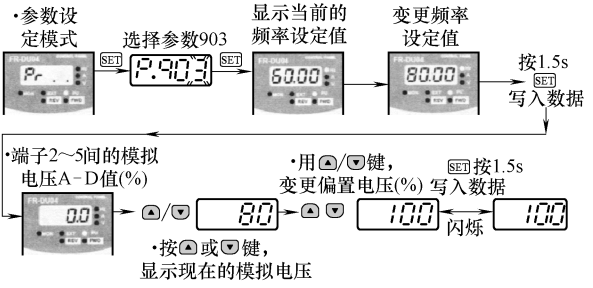


图 5-72　变更设定参数

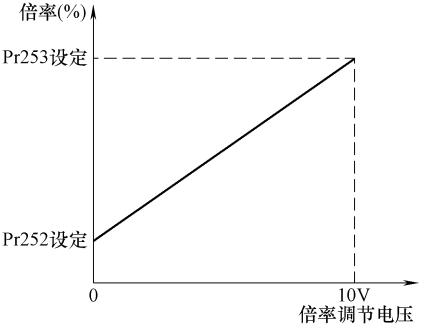


图 5-73　变更设定参数

4. 转差补偿与输入滤波

Pr254～Pr247 是 E500、A740 用于调整电动机实际转速，提高或降低电

动机同一频率的实际转速。Pr74 用于设定给定输入滤波器，消除尖峰脉冲干扰。

四、其他频率给定

1. 多级变速

此时属于有级输出频率，参数事先设定后再由外部开关量进行选择，信号与变速级、输出频率的关系见表 5-17。多级变速时模拟量输入无效；对 A540、A740，速度倍率功能生效时，作速度倍率调整输入模拟量仍有效；几个变速级同时选择时，优先选择最低输出频率；各变速频率值可在运行中加以调整；如在 A540、A740 多级变速运行频率叠加外部模拟量倍率调整（补偿）输入，应设 Pr28 = 1。倍率调整功能生效时，如 Pr73 = 4、5、14、15，则端子 2/5 模拟量输入为速度倍率调整输入；Pr73 ≠ 4、5、14、15 时，端子 1/5 模拟量输入为速度倍率调整输入。倍率调整范围由 Pr252、Pr253 进行设定。

表 5-17　信号与变速级、输出频率的关系

开关量输入信号					速度级	频率设定参数	设定范围	出厂设定
RH	RM	RL	REX	JOG				
1	0	0	0	0	1	Pr4	0 ~ 400Hz	60
0	1	0	0	0	2	Pr5		30
0	0	1	0	0	3	Pr6		10
0	1	1	0	0	4	Pr24		9999
1	0	1	0	0	5	Pr25		
1	1	0	0	0	6	Pr26		
1	1	1	0	0	7	Pr27		
0	0	0	1	0	8	Pr232		
0	0	1	1	0	9	Pr233		
0	1	0	1	0	10	Pr234		
0	1	1	1	0	11	Pr235		
1	0	0	1	0	12	Pr236		
1	0	1	1	0	13	Pr237		
1	1	0	1	0	14	Pr238		
1	1	1	1	0	15	Pr239		
0/1	0/1	0/1	0/1	1	JOG 速度	Pr15		5.0

2. JOG

转向信号直接控制起/停。由 Pr15 设定，且 Pr16 可设定单独加减速时间。E500 系列变频器只能通过 PU 生效 JOG 操作，用 RUN 起动 JOG 操作、用 FWD/REV 选择转向。A540/A740 系列变频器用 PU 控制 JOG 运行，也可用开关量控制 JOG，输入端定义为“5”选择 JOG 方式，并由 STR/STF 选择转向与起动 JOG 运行。其中点动优先级最高。

3. 远程操作

输出频率用 RH、RM、RL，见图 5-74，频率可记忆。Pr59 = 0，远程控制无效；Pr59 = 1，远程控制、频率存储同时有效；Pr59 = 2，远程控制有效、频率存储无效。远程控制时，RH 频率增加、RM 频率减小、RL 清除频率存储值与停止远程控制。远程控制频率增/减由 Pr7/8、Pr44/45 设定；调节中如 RH、RM 断开时间大于 1min 或转向信号断开，变频器存储频率。远程控制有效时，RH、RM、RL、STF/STR 与输出频率关系见图 5-74。

4. 程序操作

仅对 A540 系列变频器而言，Pr79 = 5。RH、RM、RL 分别是程序组 1、程序组 2、程序组 3 的选择信号；STR 用于定时器复位；STF 用于程序起动。

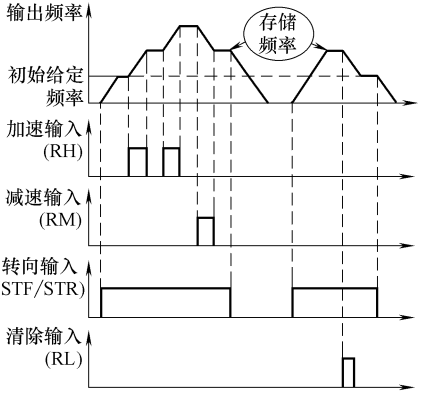


图 5-74　远程控制方式

程序方式有效时，外部开关量输入 AU、STOP 及模拟量输入端 2、4、1 无效，Pr76 = 3。SU 是程序执行完成信号；FU、OL、IPF 分别是程序组 1、程序组 2、程序组 3 运行中输出。当多组程序同时运行时，按照组 1→2→3 优先次序运行；当某 1 组程序运行完成，基准时间复位，自动进入下 1 组程序；全部程序组执行完成后，SU 输出程序完成信号。如将完成信号直接复位定时器给 STR，变频器重复执行。程序运行参数见表 5-15，Pr201 ~ Pr230 含起动时间、转向、频率。以 Pr201 为例，设定 Pr201 = 0 时转向停止；Pr201 = 1 时正转；Pr201 = 2 时反转。重复上述输入过程。

某变频器按图 5-75 所示曲线重复运行。接线见图 5-76，Pr79 = 5，内部程序运行方式；Pr76 = 3，定义 SU、IPF、OL、FU 为内部程序运行；Pr200 = 1，时间为 h，电压监视方式；Pr231 = 0，起动时刻为 0。

根据图 5-75 的运行曲线，进行如下设定：

Pr201 = 1，40；0：30。正转、40Hz、0：30 起动正转 40Hz 运行。

Pr202 = 0，0；2：00。停止、0Hz、2：00 开始停止。

Pr203 = 2，20；3：00。反转、20Hz、3：00 起动反转 20Hz 运行。

Pr204 = 1，10；4：30。正转、10Hz、4：30 起动正转 10Hz 运行。

Pr205 = 1，30；6：30。正转、30Hz、6：30 起动正转 30Hz 运行。

Pr206 = 0，0；8：00。停止、0Hz、8：00 开始停止，动作结束。

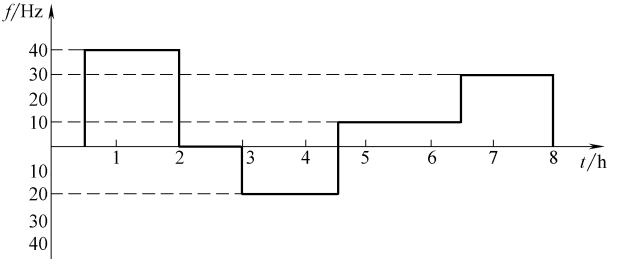


图 5-75　程序运行曲线

运行结束时 8：00，输出 SU 信号，返回 STR 端，定时器清零，30min 重新正转 40Hz，如此循环。

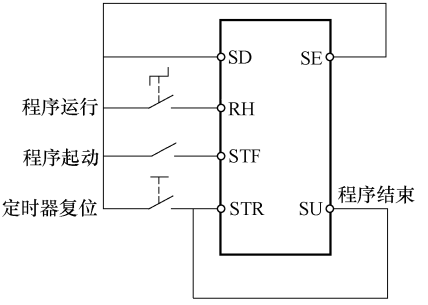


图 5-76　变频器的连接

五、开关量输入/输出

起动、停止、转向选择等控制及运行状态检测需要开关量输入/输出 DI/DO 信号。可连接的 DI/DO 点不多，但 DI/DO 点通过设置可获得多种功能，即多功能 DI/DO 点。

1. 输入/输出设定

DI/DO 定义含功能、类型、动作值与范围等，与电路有关，见表 5-18。

表 5-18　DI/DO 信号的基本设定参数

参数	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	作　　用
Pr17	MRS 的极性设定	×	○	○	0/2/4	0，常开触点输入；2，常闭触点输入；4，开关量输入的 MRS 为常闭触点，通信方式输入的信号有常开触点性质
Pr41	频率到达信号 SU 动作范围	○	○	○	0% ~100%	当输出频率到达允许范围内，SU = 1

（续）

参数	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	作　　用
Pr42	第 1 检测频率(正转)	○	○	○	0 ~ 400Hz	当正转运行频率 > 设定时,FU = 1
Pr43	第 1 检测频率(反转)	○	○	○		当反转运行频率 > 设定时,FU = 1”
Pr50	第 2 检测频率(正/反转)	×	○	○		当运行频率大于本设定时,FU2 = 1
Pr116	第 3 检测频率(正/反转)	×	○	○		当运行频率大于本设定时,FU3 = 1
Pr76	开关量输出功能定义	×	○	○	0 ~ 3	默认设定 0
Pr78	STF/STR 功能设定	○	○	○	0/1/2	0,全部有效;1,STR(反转)禁止;2,STF(正转)禁止
Pr150	电流到达信号检测值	○	○	○	0% ~ 200%	电流检测信号 Y12 的动作值
Pr151	电流到达信号输出延时	○	○	○	0 ~ 10s	设定电流到达 Pr150 设定值后,直到 Y12 = 1 时的延时
Pr152	电流为 0 信号检测值	○	○	○	0% ~ 200%	电流为 0 检测信号 Y13 的动作值
Pr153	电流为 0 输出延时	○	○	○	0 ~ 10s	设定电流 < Pr152 值后,直到 Y13 = 1 时的延时
Pr155	RT 信号执行条件	×	○	○	0/10	0,立即生效;10,加减速时无效
Pr157	过电流输出延时	×	○	○	0 ~ 25s	设定过电流发生后,直到输出信号 OL 为 1 之间的延时
Pr178	STF 选择	×	×	○	0 ~ 99	E500, Pr183 设端子 MRS 的功能;A540/A740, Pr183 设端子 RT 的功能
Pr179	STL 选择	×	×	○		
Pr180	RL 选择	○	○	○		
Pr181	RM 选择	○	○	○		
Pr182	RH 选择	○	○	○		
Pr183	MRS 选择	○	×	×		
Pr183	RT 选择	×	○	○		
Pr184	AU 选择	×	○	○		
Pr185	JOG 选择	×	○	○		
Pr186	CS 选择	×	○	○		

（续）

参数	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	作　　用
Pr187	MRS 选择	×	×	○	0～99	E500，Pr183 设端子 MRS 的功能；A540/A740，Pr183 设端子 RT 的功能
Pr188	STOP 选择	×	×	○		
Pr189	RES 选择	×	×	○		
Pr190	RUN 选择	○	○	○	0～33；100～133；98、99；198、199	E500，Pr191、Pr192 设端子 FU、A/B/C 的功能；A540/A740，Pr191、Pr192 设端子 SU、IPF 的功能
Pr191	FU 选择	○	×	×		
Pr191	SU 选择	×	○	○		
Pr192	A/B/C 选择	○	×	×		
Pr192	IPF 选择	×	○	○		
Pr193	OL 选择	×	○	○		
Pr194	FU 选择	×	○	○		
Pr195	A/B/C 选择	×	○	○		
Pr196	A2/B2/C2 选择	×	×	○		

注：○—可使用；×—不可使用。

2. 开关量输入功能

输入点数、定义功能与型号有关，FR—E500 系列变频器有 7 点开关量输入，其中 4 点可定义功能；FR—A540 系列有 12 点开关量输入，其中 7 点可定义功能；FR—A740 系列有 12 点开关量输入，全部可定义功能。变频器连接总图中的开关量输入端功能出厂默认，由 Pr178～Pr189 设定，输入端与参数的对应关系见表 5-19；参数设定值与输入端功能的对应关系见表 5-20。

表 5-19　输入端与参数的对应关系

参数号	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
输入端	STF	STR	RL	RM	RH	RT	AU	JOG	CS	MRS	STOP	RES
E500	×	×	○	○	○	×	×	×	×	○	×	×
A540	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
A740	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

① 定义开关量输入点的功能。E500 系列变频器，STF、STR、RES 正转、反转、复位，其余 RH、RM、RL、MRS 由 Pr180～Pr183 设定；A540 系列，STF、STR、STOP、RES、MRS 正转、反转、停止、复位、输出关闭；其余 7 点输入 RH、RM、RL、JOG、RT、AU、CS 由 Pr180～Pr186 设定；A740 系列，全部可定义，但部分功能需要分配到指定点，如 PTC 输入只分配到 AU。

表 5-20　参数设定值与输入端功能的对应关系

设定值	端子名称	参数设定	输入信号的功能	E500	A540	A740
0	RL	Pr59 = 0	多速运行速度选择信号 1	○	○	○
		Pr59 = 1、2	远程控制的升速信号	○	○	○
		Pr79 = 5	程序运行组 1 选择	×	○	×
		Pr270 = 1、3	挡块定位速度选择 1	×	○	○
1	RM	Pr59 = 0	多速运行速度选择信号 2	○	○	○
		Pr59 = 1、2	远程控制的减速信号	○	○	○
		Pr79 = 5	程序运行组 2 选择	×	○	×
		Pr270 = 1、3	挡块定位速度选择 2	×	○	○
2	RH	Pr59 = 0	多速运行速度选择信号 3	○	○	○
		Pr59 = 1、2	远程控制的复位信号	○	○	○
		Pr79 = 5	程序运行组 3 选择	×	○	×
		Pr270 = 1、3	挡块定位速度选择 3	×	○	○
3	RT	Pr270 = 0	多电动机控制时的第 2 电动机选择信号	○	○	○
		Pr270 = 1、3	挡块定位速度选择 4	×	○	○
4	AU	—	频率给定为模拟电流输入信号	○	○	○
5	STOP	—	正反转起动保持端	○	×	×
	JOG	—	点动运行方式选择	×	○	○
6	MRS	—	输出关闭控制端	○	×	×
	CS	—	自动重新起动与工频/变频选择信	×	○	○
7	OH	—	外部热继电器输入	○	○	○
8	RE ×	—	多速运行速度选择信号 4	○	○	○
9	X9	—	多电动机控制时的第 3 电动机选择信号	×	○	○
10	X10	—	功率因数补偿 FR-HC 输入 1	×	○	○
11	X11	—	功率因数补偿 FR-HC 输入 2	×	○	○
12	X12	—	PU/外部操作模式切换控制	×	○	○
13	X13	—	直流制动起动	×	○	○
14	X14	—	PID 生效	×	○	○
15	BRI	—	制动器松开完成信号	×	○	○
16	X16	—	PU 操作/外部操作切换信号	○	○	○
17	X17	—	正/反转转矩提升控制	×	○	○
18	X18	—	矢量控制/*U*/*f* 控制切换信号	○	○	○
19	X19	—	升降负载自动速度调整功能生效信	×	○	○
20	X20	—	S 形加减速方式选择（需 FR-A5AP/A7AP 选件）	×	○	○

（续）

设定值	端子名称	参数设定	输入信号的功能	E500	A540	A740
22	X22		定位指令(需 FR-A5AP/A7AP 选件)	×	○	○
23	LX	—	初始励磁(需 FR-A5AP/A7AP 选件)	×	○	○
24	MRS	—	输出停止控制或工频切换控制	×	×	○
25	STOP	—	起动自保持	×	×	○
26	MC	—	速度/转矩、速度/位置、位置/转矩控制模式切换信号	×	×	○
27	TL	—	转矩限制	×	×	○
28	X28	—	在线自动调整起动信号	×	×	○
37	X37		三角波输出起动	×	×	○
42	X42	—	转矩偏置选择 1	×	×	○
43	X43	—	转矩偏置选择 2	×	×	○
44	X44	—	P/PI 调节器切换	×	×	○
60	STF	—	正转起动(只能 Pr178 设定)	×	×	○
61	STR	—	反转起动(只能 Pr179 设定)	×	×	○
62	RES	—	变频器复位与工频切换参数初始化	×	×	○
63	PTC	—	PTC 电阻连接(只能 Pr184 设定)	×	×	○
64	X64	—	PID 极性切换	×	×	○
65	X65	—	PU/NET 操作模式切换	×	×	○
66	X66	—	外部/NET 操作模式切换	×	×	○
67	X67	—	频率给定输入切换	×	×	○
68	NP	—	定位脉冲方向输入	×	×	○
69	CLR	—	定位脉冲清除信号输入	×	×	○
70	X70	—	直流供电生效	×	×	○
71	X71	—	直流供电解除	×	×	○
9999	—	—	端子不使用	○	○	○

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

② 不同输入端可分配相同功能，输入信号间为逻辑“或”运算关系。

③ 同时指定不同运行模式时，频率给定优先顺序为点动、多速运行和外部模拟输入。

④ A540 系列变频器如不定义功能 X17、X18，可由 RT 承担 X17、X18 功能。

⑤ A540 系列变频器如不定义功能 X10、X12，可由 MRS 承担 X10、X12 功能。

3. 开关量输出功能

（1）输出功能定义　输出点的功能与型号有关，E500 系列变频器集电

极开路晶体管输出为 3 点，由 Pr90 ~ Pr192 确定；A540/A740 系列变频器有 5 点集电极开路晶体管输出，由 Pr76 或 Pr190 ~ Pr195 确定；FR-A540、FR-700系列，定义开关量功能前先由 Pr76 确定输出类别，Pr76 定义优先于 Pr190 ~ Pr195。Pr76 设定值与输出端功能的关系见表 5-21。Pr76 = 0 时开关量输出端与参数的对应关系见表 5-22。不同输出端可分配功能相同，时输出信号状态相同；当设定值超允许范围，则端子功能无效。

表 5-21　Pr76 设定值与输出端功能的关系

Pr76 设定	开关量输出信号的功能				E500	A540	A740
	SU	IPF	OL	FU			
0	运行状态信息,功能由 Pr190 ~ Pr195 定义				×	○	○
1	报警代码位 3	报警代码位 2	报警代码位 1	报警代码位 0	×	○	○
2	报警时输出报警代码 0 ~ 3（同设定 1）;正常运行时输出运行状态信息(同设定 0)				×	○	○
3	程序运行结束	第 3 组程序运行	第 2 组程序运行	第 1 组程序运行	×	○	×

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

表 5-22　Pr76 = 0 时开关量输出端与参数的对应关系

参数号	Pr190	Pr191	Pr192	Pr193	Pr194	Pr195
输出端	RUN	SU	IPF	OL	FU	A/B/C
E500	○	×	×	×	○	○
A540	○	○	○	○	○	○
A740	○	○	○	○	○	○

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

（2）报警代码输出　A540/A740 系列变频器的 Pr76 定义方法是：Pr76 = 0 时，5 点开关量输出功能由 Pr190 ~ Pr195 定义；Pr76 = 1 时，5 点开关量输出中 SU、IPF、OL、FU 为变频器报警代码输出，RUN 信号功能由 Pr190 定义；Pr76 = 2 时，5 点开关量输出功能与变频器实际状态有关，当正常运行时功能由 Pr190 ~ Pr195 定义；报警时，SU、IPF、OL、FU 为报警代码输出，RUN 功能不变；Pr76 = 3 时，只用于 A540 系列变频器，程序运行输出状态。当 Pr76 = 1 或 2 时，报警代码与输出信号的关系见表 5-23。

（3）运行状态输出　当 Pr76 = 0 时，5 点开关量输出为运行状态输出，端子功能由 Pr190 ~ Pr195 定义，Pr190 ~ Pr195 与端子功能的对应关系见表 5-24。

表 5-23　变频器报警代码与输出信号的关系

变频器状态(操作单元 DU 显示报警)	报警代码	开关量输出信号状态			
		SU	IPF	OL	FU
正常状态	0	0	0	0	0
加速时过电流(E. OC1)	1			0	1
正常运行时过电流(E. OC2)	2			1	0
减速时过电流(E. OC3)	3			1	1
直流母线过电压(E. OV1 ~ OV3)	4		1	0	0
电动机过载(E. THM)	5			0	1
变频器过载(E. THT)	6			1	0
瞬时断电保护(E. IPF)	7			1	1
输入电源电压过低(E. UVT)	8	1	0	0	0
散热器温度过高(E. FIN)	9			0	1
输出对地短路(E. GF)	A			1	0
外部热继电器动作(E. OHT)	B			1	1
失速防止功能动作(E. OLT)	C		1	0	0
功能选件模块安装错误(E. OPT)	D			0	1
功能选件模块连接错误(E. OP3)	E			1	0
其他报警	F			1	1

表 5-24　Pr190 ~ Pr195 与端子功能的对应关系

设定值		端子名称	输入信号的功能	E500	A540	A740
正逻辑	负逻辑					
0	100	RUN	变频器运行	○	○	○
1	101	SU	变频器输出频率到达给定频率要求范围	○	○	○
2	102	IPF	电压低或瞬时断电	×	○	○
3	103	OL	失速防止功能生效期间出现过电流报警	○	○	○
4	104	FU	Pr42/43 设定的频率到达	○	○	○
5	105	FU2	Pr50 设定的频率到达	×	○	○
6	106	FU3	Pr116 设定的频率到达	×	○	○
7	107	RBP	制动预警,制动率已达到 Pr50 设定的 85%	×	○	○
8	108	THP	过电流预警,过电流已经达到 Pr9 设定的 85%	×	○	○
9	109	PRG	程序运行方式有效	×	○	○
10	110	PU	PU 操作模式生效	×	○	○
11	111	RY	变频器准备好	○	○	○
12	112	Y12	电流到达,Pr150 设定的电流到达	○	○	○
13	113	Y13	电流为 0,实际电流小于 Pr152 设定的电流	○	○	○

（续）

设定值		端子名称	输入信号的功能	E500	A540	A740
正逻辑	负逻辑					
14	114	FDN	PID 调节时 Pr132 设下限到达	○	○	○
15	115	FUP	PID 调节时 Pr131 设上限到达	○	○	○
16	116	RL	PID 调节时的方向输出	○	○	○
17	—	MC1	工频/变频器切换时，变频器主电源接通信号	×	○	○
18	—	MC2	工频/变频器切换时，工频接通信号	×	○	○
19	—	MC3	工频/变频器切换时，变频器接通信号	×	○	○
20	120	BOF	制动器打开信号	×	○	○
25	125	FAN	风机故障输出	×	○	○
26	126	FIN	散热器过热输出	×	○	○
27	127	ORA	位置到达（需 FR—A5AP/A7AP 选件）	×	○	○
28	128	ORM	定位错误（需 FR—A5AP/A7AP 选件）	×	○	○
29	129	Y29	速度超过（需 FR—A5AP/A7AP 选件）	×	○	○
30	130	Y30	正转中输出（需 FR—A5AP/A7AP 选件）	×	○	○
31	131	Y31	反转中输出（需 FR—A5AP/A7AP 选件）	×	○	○
32	132	Y32	制动时的正转输出	×	○	○
33	133	RY2	FR-A5AP/A7AP 选件准备好	×	○	○
34	134	LS	低速输出（频率小于 Pr865 设定值时输出为 1）	×	×	○
35	135	TU	转矩检测（转矩大于 Pr864 设定值时输出为 1）	×	×	○
36	136	Y36	定位完成（剩余脉冲小于设定值时输出为 1）	×	×	○
39	139	Y39	在线自动调整完成	×	×	○
41	141	FB	电动机转速到达设定值 1	×	×	○
42	142	FB2	电动机转速到达设定值 2	×	×	○
43	143	FB3	电动机转速到达设定值 3	×	×	○
44	144	RUN2	变频器运行中（旋转、定向、位置控制中）	×	×	○
45	145	RUN3	变频器运行中（起动指令为 ON 和运行中）	×	×	○
46	146	Y46	瞬时断电减速中	×	×	○
47	147	PID	PID 控制中	×	×	○
64	164	Y64	变频器重试中	×	×	○
70	170	SLEEP	PID 中断信号	×	×	○
84	184	RDY	位置控制系统准备好	×	×	○
85	185	Y85	直流供电生效信号	×	×	○
90	190	Y90	主要器件寿命到达报警信号	×	×	○

（续）

设定值		端子名称	输入信号的功能	E500	A540	A740
正逻辑	负逻辑					
91	191	Y91	变频器连接错误或电路故障信号	×	×	○
92	192	Y92	平均节约功率数据更新信号	×	×	○
93	193	Y93	电流平均值监视信号	×	×	○
94	194	ALM2	变频器报警输出	×	×	○
95	195	Y95	定期维护输出	×	×	○
96	196	REM	远程控制生效	×	×	○
97	197	ER	变频器出错	×	×	○
98	198	LF	冷却风机不良	○	○	○
99	199	ALM1	报警输出	○	○	○
9999	—	—	端子不使用	×	○	○

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

第五节　基本功能与参数设置

一、电动机参数设定

1. 电动机类型

Pr71（第 1 电动机）、Pr450（第 2 电动机，仅 A740）选择电动机类型。FR—500 矢量控制只能用于第 1 电动机，只设定 Pr71；FR—A740 可对第 2 电动机使用矢量开环控制。根据电动机类型，变频器可自动改变某些参数范围，如 Pr0、Pr12 等。设定见表 5-25。

表 5-25　电动机类型设定

Pr 71（Pr450）	电动机类型	变频器类型			含　义
		E500	A540	A740	
0	通用电动机	○	○	○	*U/f* 控制的通用异步电动机(一般设定)
2		×	○	○	用5点可调 *U/f* 特性的电动机,见 Pr100～Pr109
3		○	○	○	矢量控制的通用电动机,用自动调整功能设定电动机参数
4		×	○	○	矢量控制的通用电动机,用自动调整功能设定电动机参数,并允许读与重新设电动机参数
5(Y联结)		○	○	○	矢量控制的通用电动机参数直接输入
6(△联结)		○	○	○	
7(Y联结)		×	○	○	矢量控制的通用电动机及参数可直接输入或自动调整设定
8(△联结)		×	○	○	
100		○	×	×	*U/f* 控制的通用电动机,通过外部信号 RT,可切换为恒转矩控制过电流保护特性

（续）

Pr 71（Pr450）	电动机类型	变频器类型			含　义
		E500	A540	A740	
103	通用电动机	○	×	×	矢量控制的通用电动机，可使用离线调整功能，自动设定电动机参数，通过外部信号 RT，可切换为三菱恒转矩电动机的过电流保护特性
105（Y联结）		○	×	×	矢量控制的通用电动机及参数可以直接输入；可通过输入信号 RT 切换为三菱恒转矩电动机的过电流保护特性
106（D 联结）		○	×	×	
13	通用恒转矩电动机	○	○	○	矢量控制的恒转矩电动机，可用离线调整功能自动设定电动机参数
14		×	○	○	矢量控制的恒转矩电动机，可用自动调整功能设定电动机参数，并允许读出与重新设定电动机参数
15（Y联结）		○	○	○	矢量控制的恒转矩电动机及参数直接输入
16（D 联结）		○	○	○	
17（Y联结）		×	○	○	矢量控制的恒转矩电动机及参数直接输入与使用离线自动调整功能
18（D 联结）		×	○	○	
113		○	×	×	矢量控制的恒转矩电动机，可用离线调整功能自动设电动机参数；通过输入信号 RT，可切换为通用电动机的过电流保护特性
115（Y联结）		○	×	×	矢量控制的恒转矩电动机及参数可直接输入，通过输入信号 RT 切换为通用电动机的过流保护特性
116（D 联结）		○	×	×	
1	三菱 SF—JRCA 恒转矩电动机	○	○	○	*U/f* 控制的三菱 SF—JRCA 恒转矩电动机
50		×	×	○	
53		×	×	○	矢量控制的三菱 SF—JRCA 恒转矩电动机，用自动调整功能设定参数
54		×	×	○	矢量控制的三菱 SF—JRCA 恒转矩电动机，用自动调整功能设定电动机参数，并允许读出与重新设定
101		○	×	×	*U/f* 控制的三菱 SF—JRCA 恒转矩电动机，由外部开关量输入信号 RT，可切换为通用异步电动机的过电流保护特性
20	三菱 SF—JR4P 电动机（1.5kW 以下）	×	○	○	开环磁通控制的三菱 SF—JR4P 异步电动机
23		○	○	○	矢量控制的三菱 SF—JR4A 电动机，可用离线调整功能自动设定电动机参数
24		×	○	○	矢量控制的三菱 SF—JR4A 电动机，可用自动调整功能设定电动机参数，并允许读出与重新设定

（续）

Pr 71（Pr450）	电动机类型	变频器类型			含　义
		E500	A540	A740	
123	三菱SF—JR4P电动机（1.5kW以下）	○	×	×	矢量控制的三菱恒转矩电动机，可用离线调整功能自动设定电动机参数，可通过输入信号RT切换为通用异步电动机的过电流保护特性
30	三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机	×	×	○	*U/f* 控制的三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机
33		×	×	○	矢量控制的三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机，用自动调整功能设参数
34		×	×	○	矢量控制的三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机，用恒转矩控制，用自动调整功能设参数，并允许读出与重新设定
40	三菱SF—HR高效异步电动机	×	×	○	*U/f* 控制的三菱SF—HR高效异步电动机
43		×	×	○	矢量控制的三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机，用自动调整功能设定参数
44		×	×	○	矢量控制的三菱SF—V5RU、SF—THY专用电动机，采用恒转矩控制，使用自动调整功能设定参数，并允许读出与重新设定电动机参数

注：○—功能可定义；×—功能不能定义。

2. 电动机与变频器基本参数

与选择的控制方式相关。*U/f* 控制时，只需设定Pr71、Pr3、Pr19、Pr9；矢量控制时需设定电动机功率、极数、定子/转子的电阻/电感、励磁阻抗等参数。三菱变频器有“多电动机控制”功能，用于切换外部电路，1台变频器控制方式不同时工作规格相同或相近的几台电动机，还可对同一电动机控制不同负载参数变换。

FR—500系列电动机切换只能采用 *U/f* 控制方式，且电动机类型、额定电压一致。多电动机切换需外部电路与变频器结合，外部电路完成电动机切换后，由RT（切换第2电动机）或X19（第3电动机，E500不可），自动改变加减速时间、额定频率、转矩提升、失速防止电流 *U/f* 参数。FR—700开环矢量控制方式也可实现电动机切换控制。电动机基本参数的设定见表5-26。

设定时应注意的是，Pr80、Pr81同时具有选择控制方式的功能。

① *U/f* 控制时，必须设Pr80/Pr81 = 9999，否则自动选择矢量控制方式。

② 矢量控制时，当Pr81 = 2 ~ 10（电动机极数为12极时，设Pr81 =

112）时，X18 控制方式切换功能无效；Pr81 = 12 ~ 20（设 Pr81 = 122）时，由 X18 实现控制方式切换，当 X18 = 1 时，由矢量控制切换到 *U/f* 控制。

表 5-26　电动机基本参数的设定

参数号	名　　称	设定范围	E500	A540	A740	*U/f* 控制	矢量控制
Pr3	额定频率	0 ~ 400Hz	○	○	○	○	×
Pr9	电动机额定电流(过电流保护设定)	0 ~ 500A	○	○	○	○	○
Pr19	额定电压	0 ~ 1000V	○	○	○	○	×
Pr47	第 2 电动机额定频率	0 ~ 400Hz	○	○	○	○	×
Pr48	第 2 电动机额定电流(过电流保护设定)	0 ~ 500A	○	×	×	○	×
Pr51			×	×	○	○	○
Pr113	第 3 电动机额定频率	0 ~ 400Hz	×	○	○	○	×
Pr80	电动机功率	0. 4 ~ 55kW	○	○	○	9999	○
Pr81	电动机极数	2 ~ 10、12 ~ 20	×	○	○		○
Pr82	电动机励磁电流	不同	○	○	○		○
Pr83	电动机额定电压	0 ~ 1000V	○	○	○		○
Pr84	电动机额定频率	0 ~ 400Hz	○	○	○		○
Pr89	速度环增益	0% ~ 200%	○	○	○		○
Pr90	电动机定子电阻 R1	不同	○	○	○		○
Pr91	电动机转子电阻 R2		×	○	○		○
Pr92	电动机定子电感 L1		×	○	○		○
Pr93	电动机转子电感 L2		×	○	○		○
Pr94	电动机励磁阻抗 X		×	○	○		○
Pr95	在线自动调整	0/1	×	○	○	0	○
Pr96	离线自动调整		○	○	○		○
Pr859	电动机转矩电流分量	不同	×	×	○	9999	○
Pr453	第 2 电动机功率	0. 4 ~ 55kW	×	×	○		○
Pr454	第 2 电动机极数	2 ~ 10、12 ~ 20	×	×	○		○
Pr455	第 2 电动机励磁电流	不同	×	×	○		○
Pr456	第 2 电动机额定电压	0 ~ 1000V	×	×	○		○
Pr457	第 2 电动机额定频率	0 ~ 400Hz	×	×	○		○
Pr458	第 2 电动机定子电阻 R1	不同	×	×	○		○
Pr459	第 2 电动机转子电阻 R2		×	×	○		○
Pr460	第 2 电动机定子电阻 L1		×	×	○		○
Pr461	第 2 电动机转子电阻 L2		×	×	○		○
Pr462	第 2 电动机励磁阻抗 X		×	×	○		○
Pr569	第 2 电动机速度环增益	0% ~ 200. 0%	×	×	○		○
Pr860	第 2 电动机转矩电流分量	不同	×	×	○		○

（续）

参数号	名　　称	设定范围	E500	A540	A740	U/f 控制	矢量控制
Pr463	第 2 电动机离线自动调整	0/1	×	×	○	0	○
Pr574	第 2 电动机在线自动调整		×	×	○		○
Pr684	自动调整时的单位选择		×	×	○		○
Pr854	励磁电流比调整	0% ~100%	×	×	○		○

注：○—可设定；×—不可设定。

③ FR—E500 系列采用矢量控制时，只能采用 2、4、6 极电动机或 4 极电动机。

3. 电动机参数自动设定

（1）变频器自动/调整功能　矢量控制时需详细参数，实际难以做到。此时可用自动调整功能，实现变频器对电动机的测量，完成 Pr82、Pr90 ~ Pr94、Pr859（第 1 电动机）、Pr455、Pr458 ~ Pr462、Pr860（第 2 电动机，仅 A740）设定。FR—A740 系列变频器由 Pr854 设定对矢量控制时励磁电流分量比例调整，以降低励磁电流，减小正反转换向造成冲击；FR—A740 系列变频器励磁电流还可由模拟量输入端给定。

需要注意的是，变频器控制电动机功率应不小于所控制电动机额定功率；先设 Pr1 = 120Hz，再设其他值；执行自动调整功能可能引起电动机旋转，先松开制动器，负载与电动机脱离；高转差电动机、高速电动机不用此功能；当 FR—700 在矢量控制方式用电动机切换功能时，需设两组电动机参数，第 2 电动机 Pr450 ~ Pr462，先用 RT 选定需自动调整的电动机，设定相应自动调整参数。

（2）离线自动调整

① PU 实现。正确设定 Pr71（第 1 电动机）、Pr450（第 2 电动机，仅 A740）。

② 设定电动机参数 Pr9、Pr80、Pr81、Pr83、Pr84（第 1 电动机），Pr51、Pr453、Pr454、Pr456、Pr457（第 2 电动机，仅 A740）。

③ 设定 Pr96（第 1 电动机）、Pr 463（第 2 电动机，仅 A740），选择自动调整功能。Pr96/Pr463 = 0，不执行自动调整；Pr96/Pr463 = 1，调整中不需要旋转电动机，但电动机需要在定子绕组中施加励磁电流，调整时间约为 25s；Pr96/Pr463 = 101，调整过程需旋转电动机，变频器输出频率约 60Hz，调整时间约为 40s。

④ 操作 FWD/REV 键，启动自动调整操作；调整中，PU 操作方式图

5-77、图 5-78（设定 Pr684 = 1 时，参数显示单位为 A、Ω、mH，初始显示的“1”与“101”为 Pr96 或 Pr463 的设定值）。调整结束时，PU 显示“TUNE COMPIETION”，状态显示“3”或“103”；如调整中出现报警，PU 显示“TUNE ERROR”，报警号为“9”或“91”～“93”，即不能正常完成。ERR9 为变频器出错报警；ERR91 为调整中失速防止功能报警，设 Pr156 = 1，取消加减速时的失速防止功能；ERR92 为过电压报警，即过程中变频器输出电压大于额定电压的 75%；ERR93 为电动机参数计算错误报警。

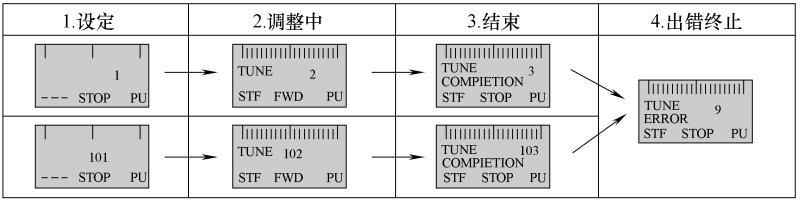


图 5-77　自动调整显示（A540）

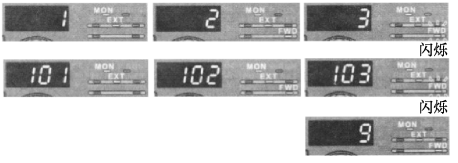


图 5-78　自动调整显示（A740）

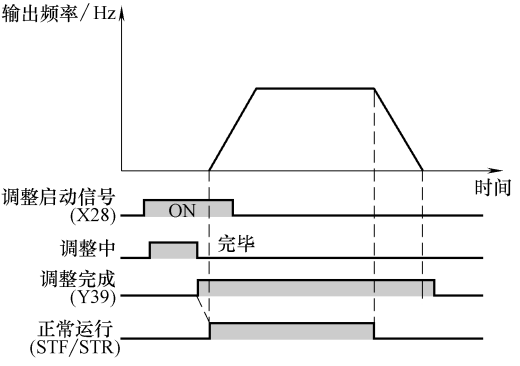


图 5-79　FR—A740 自动调整的外部控制

⑤ 如需中断调整动作，可用 STOP/RESET 键，强制中断调整动作，PU

显示“8”。调整完成后，电动机参数自动存储到 Pr82、Pr90 ~ Pr94、Pr859（第 1 电动机）/Pr455、Pr458 ~ Pr462、Pr860（第 2 电动机，仅 A740）。

（3）在线自动调整　对 A540/A740 完成离线自动调整后，用 Pr95/Pr574 设定继续在线调整功能，获得矢量控制更具体的参数。确认 Pr96/Pr463 = 3 或 103，调试完成；设定 Pr95/Pr574 = 1，在线自动调整；操作 FWD/REV，起动在线自动调整。自动调整也可采用外部操作，即以 STF/STR 代替 FWD/REV。A740 系列变频器中在线自动调整还可用外部信号直接选择与起动，见图 5-79，Pr178 ~ Pr189 定义自动调整起动输入 X28；如果有需要，可用 Pr190 ~ Pr196 定义“自动调整完成”输出 Y39；确认 Pr96/Pr463 = 3 或 103；设 Pr95/Pr574 = 1，生效在线自动调整功能；保持 STF/STR = 0，将 X28 = 1，进入自动调整状态，完成后，Y39 = 1；此时控制 STF/STR 变频器。

二、变频器控制方式

1. 基本控制参数

（1）PWM 频率的设定　出厂设定为 2kHz 左右，可进行调整。频率高时，则变频器漏抗与噪声大，可降低电动机运行噪声与避免机械共振。FR—500/700 系列用 Pr72、Pr240 或 Pr260（仅 FR—700）设定 PWM 频率。Pr72 直接设定 PWM 频率为 0 ~ 15kHz。Pr72 = 0 时，自动选择 0.75kHz；Pr72 = 15 时，自动选择 14.5kHz；可通过自动选择相近的频率。对 A740，设 Pr72 = 25，强制进入 *U/f* 控制。*P*r240 是柔性 PWM 频率控制功能设定。Pr240 = 1 时，自动改善变频系统工作噪声。Pr260 用于确定 PWM 频率自动调整，Pr260 = 1，如 PWM 频率过高，变频器输出超 85% 以上额定电流时，自动调到 2kHz，减少逆变管损耗。

（2）控制方式的选择　有 *U/f* 控制、开环磁通控制与矢量控制。

① 设定 Pr80 = 9999，Pr81 = 9999（FR—500/700 系列通用），则自动选择 *U/f* 控制；如 Pr80、Pr81 中输入电动机功率与极数，则自动选矢量控制。

② 对 A540、A740 系列变频器，用 Pr800（第 1 电动机）、Pr451（第 2 电动机）选择控制方式。Pr800 = 0 ~ 5，第 1 电动机采用闭环矢量控制，含速度、位置、转矩控制，或可切换的速度/转矩、速度/位置、位置/转矩控制；Pr800 = 9，第 1 电动机为闭环矢量控制测试运行；Pr800 = 10、11、12，第 1 电动机为开环矢量控制；Pr800 = 20，第 1 电动机为 *U/f* 控制；Pr451 = 10、11、1，第 2 电动机为开环矢量控制（仅 A740）；Pr451 = 20、9999，第 2 电动机为 *U/f* 控制。

2. *U/f* 控制方式

多电动机切换控制，用 RT、X9 控制，选加减速、转矩输出等参数（A740 例外）；设定负载特性，用转矩提升、负载类型等改变输出特性，与负载匹配；多点 *U/f* 特性，A540/A740 用 5 点电压/频率特性指定负载特性，不可与多电动机控制共用。

（1）负载特性选择　*U/f* 控制方式，负载特性参数的选择见表 5-27。

表 5-27　*U/f* 控制方式负载特性参数的选择

<table>
<tr><th>参数号</th><th colspan="2">名　　称</th><th>E500</th><th>A540</th><th>A740</th><th>设定范围</th></tr>
<tr><td>Pr0</td><td colspan="2">第 1 电动机转矩提升</td><td colspan="3">○</td><td>0% ~30%</td></tr>
<tr><td>Pr14</td><td colspan="2">*U/f* 控制方式负载类型的选择</td><td colspan="3">□</td><td>0 ~5</td></tr>
<tr><td>Pr46（第 2 电动机）</td><td colspan="2" rowspan="2">转矩提升</td><td colspan="2">○</td><td></td><td rowspan="2">0% ~30%</td></tr>
<tr><td>Pr112（第 3 电动机）</td><td>×</td><td colspan="2">○</td></tr>
<tr><td>100</td><td rowspan="10">5 点可调
 U/f 特性</td><td>第 1 点频率设定</td><td rowspan="10">×</td><td colspan="2" rowspan="10">○</td><td>0 ~400Hz</td></tr>
<tr><td>101</td><td>第 1 点电压设定</td><td>0.1 ~1000V</td></tr>
<tr><td>102</td><td>第 2 点频率设定</td><td>0 ~400Hz</td></tr>
<tr><td>103</td><td>第 2 点电压设定</td><td>0.1 ~1000V</td></tr>
<tr><td>104</td><td>第 3 点频率设定</td><td>0 ~400Hz</td></tr>
<tr><td>105</td><td>第 3 点电压设定</td><td>0.1 ~1000V</td></tr>
<tr><td>106</td><td>第 4 点频率设定</td><td>0 ~400Hz</td></tr>
<tr><td>107</td><td>第 4 点电压设定</td><td>0.1 ~1000V</td></tr>
<tr><td>108</td><td>第 5 点频率设定</td><td>0 ~400Hz</td></tr>
<tr><td>109</td><td>第 5 点电压设定</td><td>0.1 ~1000V</td></tr>
</table>

注：○—可设定；□—可部分设定；×—不能设定。

（2）转矩提升控制　*U/f* 控制可通过提升低频时电枢电压，补偿定子电阻 R_1 的影响，保持低频时电动机最大输出转矩不变。Pr0 = 0，输出额定电压值百分比，见图 5-80。转矩提升可用于多电动机控制，可设定不同提升曲线，由 RT、X9 选择，见表 5-28。*U/f* 控制特性与电动机负载特性匹配更好，对 FR—A540/A740，可通过参数设定内部多点 *U/f* 曲线，见图 5-81。电动机功率大、转子电阻越小、定子电流就越大，转矩提升设定值随变频器功率增加而减小。过高转矩提升电压引起电动机发热，转矩提升电压设定值应小于 10%，建议 0.4 ~0.75kW 变频器输出额定电压值百分比为 6%；1.5 ~3.7kW 变频器为 4%；5.5 ~7.5kW 变频器为 3%；11kW 变频器为以上 2%。

（3）负载类型选择　多电动机控制时，选择 Pr14 可改变转矩提升值，但不能改变负载类型。FR—F500/A500、F700/A700 系列变频器通过 RT 控制恒转矩负载转矩提升。*U/f* 控制方式负载特性见图 5-82，负载曲线设定见表 5-28。

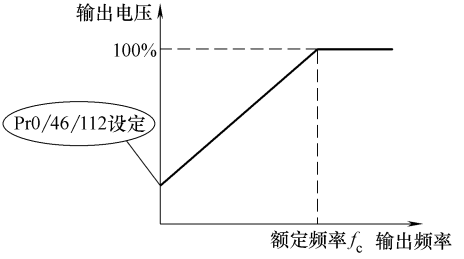


图 5-80　转矩提升设定

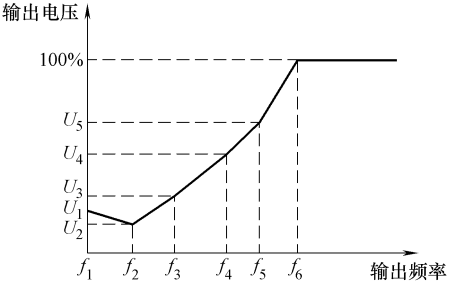


图 5-81　5 点可调 *U/f* 特性设定

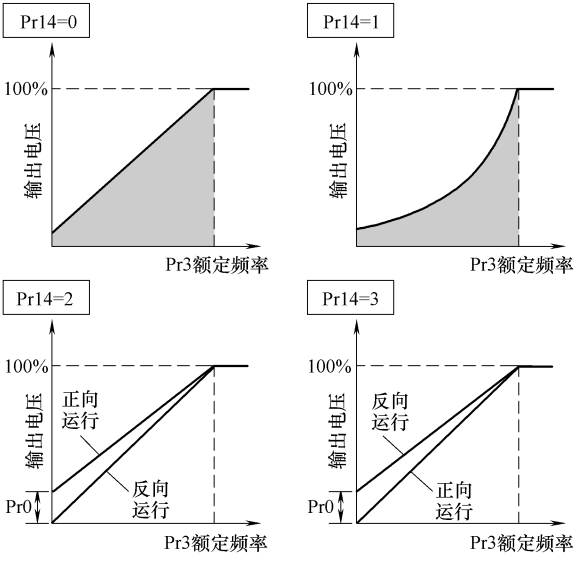


图 5-82　*U/f* 控制方式负载特性

表 5-28 负载曲线设定

Pr14 值	负载类型选择	E500	A540	A740
0	无提升控制的恒转矩负载	○		
1	风机类负载	○		
2(正转时提升有效)	转矩提升负载	○		
3(反转时提升有效)		○		
4	用 RT 控制转矩提升,RT = 1,无提升控制的恒转矩负载(同 Pr14 = 0);RT = 0,正转提升控制的恒转矩负载(同 Pr14 = 2)	×	○	○
5	用 RT 控制转矩提升。RT = 1,无提升控制的恒转矩负载(同 Pr14 = 0);RT = 0,反转提升控制的恒转矩负载(同 Pr14 = 3)	×	○	○

注：○—可设定；×—不能设定。

3. 矢量控制方式

（1）控制要点　通过矢量控制方式可提高调速性能，通用电动机也可得到类似恒转矩输出特性。设定 Pr80、Pr81≠9999。最好用 2～6 极电动机；高转差电动机、高速电动机等不宜采用矢量控制；FR-A540 系列变频器的矢量控制只能用于第 1 电动机，A740 第 2 电动机可采用开环矢量控制；采用矢量控制时应选择输出功率不小于电动机功率 1 个规格功率的变频器，电动机连接线应不大于 30m；矢量控制可扩大调速范围、增加转矩，但低速时速度波动大于 U/f 控制方式；矢量控制时，无须选择负载特性。

（2）调试　开环与闭环控制步骤见图 5-83 和图 5-84。

（3）固定频率偏差控制　A540/740 系列变频器采用矢量控制时，输出特性可适当调整，调整后输出特性“下降”，Pr286 用于设定下降量，见图 5-85。固定频率偏差控制参数的设定见表 5-29。

表 5-29 固定频率偏差控制参数的设定

Pr	名　称	E500	A540	A740	设定范围
286	频率(转速)偏差设定	×	○		0% ～100%
287	转矩电流滤波时间	×	○		0～1s
288	频率偏差功能选择	×	×	○	0,加减速时无频率偏差控制 1,固定频率偏差控制生效,但输出频率总矩应不小于 0 2,固定频率偏差控制生效,输出频率可以小于 0 10,加减速时无频率偏差控制,Pr286 为电动机转速偏差 11,频率偏差控制始终生效,Pr286 为电动机转速偏差,输出转速应不小于 0

注：○—可设定；×—不能设定。

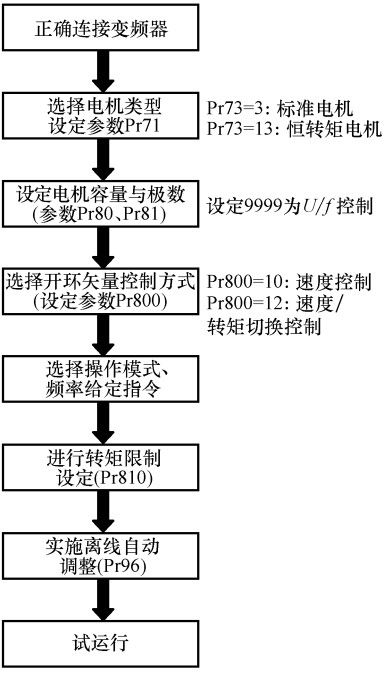


图 5-83　开环矢量控制步骤

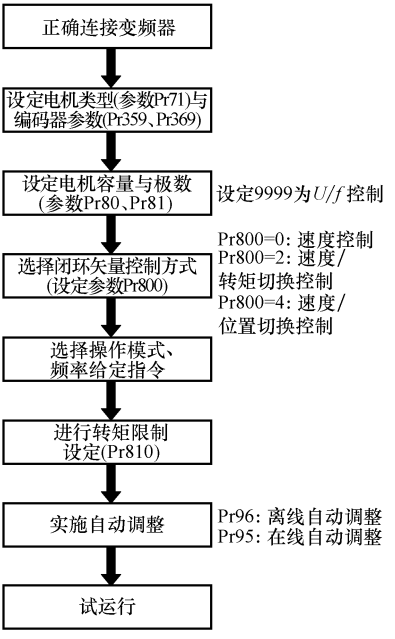


图 5-84　闭环矢量控制步骤

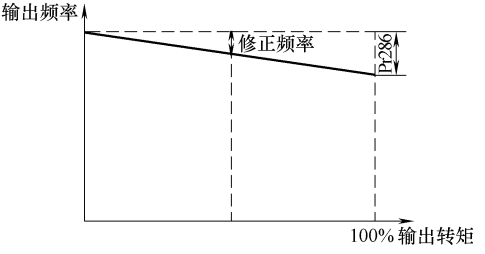


图 5-85　矢量控制负载特性的调整

变频器输出额定转矩时输出频率的减少量由 Pr286 加以设定，当输出转矩为其他值时，应进行修正，即

$$\Delta f = \frac{\text{转矩电流分量（滤波后）} \times \text{（Pr286 设定）}}{\text{额定电流} \times 100} \times \text{额定频率} \quad (5\text{-}9)$$

A740 系列变频器中，可用电动机转速形式修正输出特性，Pr288 = 10、11 时，当变频器输出额定转矩时电动机转速减少量由 Pr286 设定，当输出转

矩为其他值时，应进行修正，即

$$\Delta n=\frac{\text{转矩电流分量（滤波后）}\times\text{（Pr286 设定）}}{\text{电动机额定电流}\times 100}\times\text{电动机额定频率} \tag{5-10}$$

三、加减速与制动

1. 加减速

（1）加减速方式选择　运行频率与起/停信号输入后，输出频率将自动加减速，选择与设定见表5-30。FR—500/700 系列变频器加减速方式由 Pr29 选择，加减速方式参数的选择见表 5-31。

表 5-30　加减速方式参数的选择与设定

Pr	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	含　　义
29	加减速方式	□	○	○	0～5	选择加减速方式，见表 5-31
7	线性加速时间	○	○	○	0～3 600s	0～3 600s，从 0 到 Pr20 频率的加速时间
8	线性减速时间	○	○	○		0～3 600s，从 Pr20 频率到 0 的加速时间
16	点动运行的加/减速时间	○	○	○		0～3 600s，从 0 到 Pr15 频率的加速时间与 Pr15 频率到 0 的减速时间
20	线性加减速参考频率	○	○	○	1～400Hz	计算机线性加速度参考频率
21	加减速时间单位	○	○	○	0/1	0，0.1s；1，0.01s
44	第 2 电动机加速时间	○	○	○	0～3 600s	设定第 2 电动机时，从 0 到 Pr20 频率的加速时间
45	第 2 电动机减速时间	○	○	○		0～3 600s，设定第 2 电动机时，从 Pr20 频率到 0 的加速时间
110	第 3 电动机加速时间	×	○	○		0～3 600s，设定第 3 电动机时，从 0 到 Pr20 频率的加速时间
111	第 3 电动机减速时间	×	○	○		0～3 600s，设定第 3 电动机时，从 Pr20 频率到 0 的加速时间
140	第 1 加速结束频率	×	○	○	0～400Hz	两段线性加速时，第 1 加速结束的频率
141	两段加速的间隔时间	×	○	○	0～3 600s	两段线性加速，从第 1 加速结束到第 2 次加速的等待时间

（续）

Pr	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	含　　义
142	第1减速结束频率	×	○	○	0～400Hz	两段线性减速时，第1减速结束的频率
143	两段减速的间隔时间	×	○	○	0～3600s	两段线性减速，从第1减速结束到第2次减速的等待时间
380	S形加速时间1	×	×	○	0%～50.0%	加减速方式C加速时，S形加速时间1
381	S形减速时间1	×	×	○	0%～50.0%	加减速方式C减速时，S形减速时间1
382	S形加速时间2	×	×	○	0%～50.0%	加减速方式C加速时，S形加速时间2
383	S形减速时间2	×	×	○	0%～50.0%	加减速方式C减速时，S形减速时间2
516	开始段的S形加速时间	×	×	○	0.1～2.5s	采用复合加速时，开始段的S形加速时间
517	结束段的S形加速时间	×	×	○		复合加速时，结束段的S形加速时间
518	开始段的S形减速时间	×	×	○		复合减速时，减速开始段的S形减速时间
519	结束段的S形减速时间	×	×	○		复合减速时，减速结束段的S形减速时间
60	自适应加减方式选择	□	□	□	0～12	
292		×	×	○		
293	自适应加减功能生效选择	×	×	○	0～2	最短时间加减速功能： 0，对加减速同时有效 1，仅对加速有效 2，仅对减速有效
61	自适应加减速基准电流	○	○	○	0～500A	9999，电动机额定电流
62	自适应加速电流	○	○	○	0%～200%	9999，决定于Pr60
63	自适应减速电流	○	○	○	0%～200%	
64	升降负载的起动频率	○	○	○	0～10Hz	9999，自动选择2Hz

注：○—可用；□—可用部分功能；×—不能用。

（2）线性加减速

① 固定线性加减速。全范围的加减速不变。Pr29＝0，加速度恒定，当

给定运行频率时的加减速时间不同。加速度由 Pr20、Pr7/Pr8（第 1 电动机），Pr20、Pr44/Pr45（第 2 电动机），Pr20、Pr110/Pr111（第 3 电动机）设定；Pr20 对第 1、2、3 电动机同时有效。不同电动机加速度变化由 Pr7/Pr8（第 1 电动机）、Pr44/Pr45（第 2 电动机）、Pr110/Pr111（第 3 电动机）设定；如对第 1 电动机，加速度 a =（Pr20）/（Pr7），减速时 a = -（Pr20）/（Pr8），加减速过程见图 5-86。

表 5-31　加减速方式参数的选择

Pr 29 设定	加减速方式选择	E500	A540	A740
0	固定线性加减速	○		
1	S 形加减速 A,高速运行使用的 S 形加减速	○		
2	S 形加减速 B,固定的 S 形加减速	○		
3	两段线性加减速	×	○	○
4	S 形加减速 C,加减速时间可变的复合加减速方式	×	×	○
5	S 形加减速 D,线性/S 形复合加减速方式	×	×	○

注：○—可使用；×—不能使用。

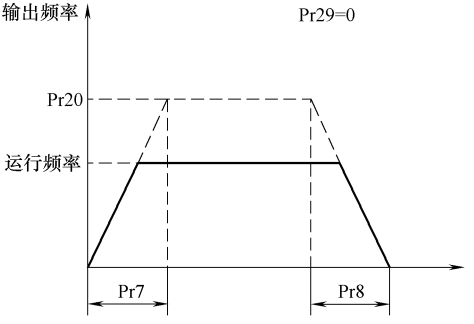


图 5-86　固定线性加减速

② 两段线性加减速。对 A540/A70 系列变频器，可用两段线性加减速，见图 5-87。Pr29 = 3，用于重载分段加速或消除机械间隙。分段点由 Pr140/Pr142 设定，设定加/减速开始段的频率增量。运行时先加速到 Pr140 频率，保持此频率运行 Pr141 时间，再加速到给定运行频率；减速时先将运行频率降低 Pr142 值，保持此频率运行 Pr143 时间，再减速到给定频率。两段线性加减速方式相同。

（3）S 形加减速

① S 形加减速 A。Pr29 = 1，高速运行 S 形加减速方式，只用于给定频率大于电动机额定频率（Pr3）的场合。曲线拐点固定为电动机额定频率

点，见图 5-88a。加减速计算基准时间 t 用 Pr7、Pr8 设定，在运行频率 f、电动机额定频率（Pr3）f_e 时，实际完成加减速过程所需时间为

$$t = \frac{4}{9}t\left(\frac{f}{f_e}\right) + \frac{5}{9}T \tag{5-11}$$

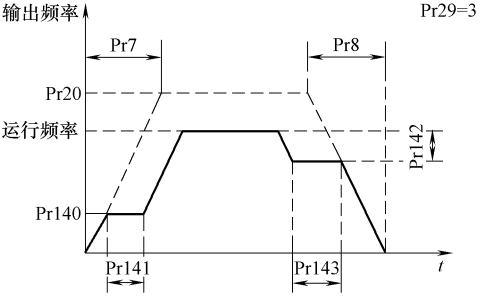
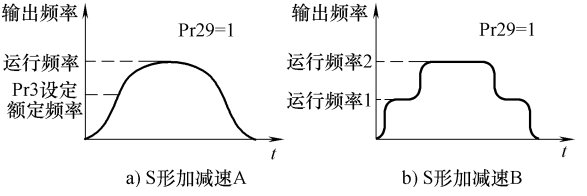


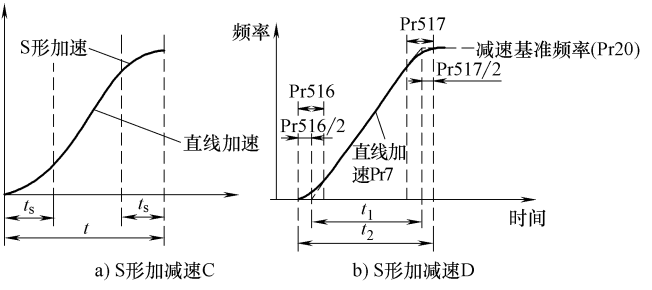
图 5-87　两段线性加减速

② S 形加减速 B。Pr29 = 2，所有运行频率均 S 形加减速。曲线拐点根据运行频率自动改变，加减速方式不受给定频率影响，见图 5-88b。



a) S形加减速A　　b) S形加减速B

图 5-88　S 形加减速 A/B



a) S形加减速C　　b) S形加减速D

图 5-89　S 形加减速 C/D

③ S 形加减速 C。Pr29 = 4，是 A740 系列变频器可改变的直线/S 形复合

加减速方式。S 形加减速用于加减速开始与结束阶段，中间阶段为直线加减速。S 形加减速 C 的开始与结束段加减速时间 t_s 相同。X20 = 0 时，Pr380/Pr381 设定 t_s；X20 = 1 时，Pr382/Pr383 设定 t_s。t_s 以占总加减速时间的比例形式设定，即 Pr380 ~ Pr383 设定值 = $t_s/t \times 100\%$。S 形加减速设定时间段以外的部分按直线加减速设定，见图 5-89a。

④ S 形加减速 D。Pr29 = 5，与 S 形加减速 C 过程相同，见图 5-89b，参数设定有一定区别。加减速开始与结束段时间可分别设定，Pr516/Pr517、Pr518/Pr519 分别为加、减速开始段与结束段时间；加减速时间单位为 s；不可通过 X20 改变；S 形加减速设定时间段以外的部分仍按直线加减速设定。

（4）自适应加减速与最优控制　简单速度控制时，由 Pr60（E500/A540）或 Pr292/Pr293（A740）设定选择自适应加减速与最优控制，见表 5-32。

表 5-32　自适应加减速与最优控制的参数设定

Pr60/Pr292 设定	运行模式		E500	A54D	A740	含　义
0	普通加减速		○	○	○	根据设定的加减速方式与时间加减速
1	最短时间	加减速 1	○	○	○	失速防止值选择为 150%，Pr7/Pr8 自动设定
2		加减速 2	○	○	×	失速防止值选择为 180%，Pf7/Pr8 自动设定
11		加减速 3	○	×	○	使用外部制动电阻，失速防止值选择为 150%
12		加减速 4	○	×	×	使用外部制动电阻，失速防止值选择为 180%
3	最优加减速		×	○	○	通过自学习功能，使加减速过程的平均电流 = 电机额定电流输出，Pr7/Pr8/Pr0 自动设定
4	节能运行		×	○	○	恒速时，可对变频器输出电压自动调整，降低输出功率
5	升降负载运行控制		×	○	○	失速防止值为 150% 的升降负载控制
6			×	○	○	失速防止值为 180% 的升降负载控制
7	带制动器的升降负载运行控制		×	○	○	需检测制动器打开信号的升降负载控制
8			×	○	○	不检测制动器打开信号的升降负载控制

注：○—可设定；×—不能设定。

Pr60/Pr292 可选择加减速与最优控制方式，自动适应负载变化，包含选择转矩提升值、升降负载控制等功能。需要注意 Pr60 针对不同系列变频器的用法：E540 系列变频器，用最短时间加减速方式 1～4，Pr60＝0/1/2/11/12；A540 系列，可用除最短时间加减速方式 3、4 外的全部设定，但矢量控制时，节能与升降负载运行 Pr60 ＝ 4～8 无效；A740 系列，只能实现节能控制，Pr60＝0、4，自适应加减速由 Pr292/Pr293 设定，Pr292 为选择自适应加减速，但不能选 2 与 12，Pr293 为最短时间加减速选择，Pr293＝0，对加速与减速过程同时有效；Pr293＝1，仅对加速有效；Pr293＝2，仅对减速有效。

2. 变频器制动

（1）制动与参数　有直接关闭输出“自由停车”和变频器控制“制动”方式。当停止或出现瞬时断电/电压过低等报警时，变频器进入制动。设定与选择见表 5-33。

表 5-33　制动控制参数设定

Pr	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	含　　义
30	制动器件选择	□	○	○	0～2	0,用内置制动单元与电阻;1,用外置制动电阻;2,用功率因数转换器
250	电动机停止方式与制动时间	○	○	○	0～100s	9999:制动始终有效
直流制动功能						
10	直流制动开始频率	○	○	○	0 ～120Hz	输出频率下降到设定频率时,自动起动直流制动
11	直流制动时间	○	○	○	0～10s	设直流制动保持的时间;8888:由 X13 控制直流制动起动
12	直流制动电压	○	○	○	0% ～30%	直流制动时加入到电动机的直流电压值
70	制动率设定	○	○	○	0% ～30%	变频器允许的制动率
802	零速制动与伺服锁定选择	×	×	○	0/1	0,闭环调速系统使用零速制动功能;1,闭环调速系统使伺服锁定功能
850	零速制动与直流制动选择	×	×	○	0/1	0:开环调速系统使用直流制动功能;1:开环调速系统使用零速制动功能

（续）

Pr	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	含　　义
瞬间断电/电压过低报警与制动功能						
261	瞬间断电/电压过低时的停止方式	×	○	○	0/1/2/11/12	0,关闭输出,电动机自由停车;1,变频器减速停止;2,自动起动功能的减速停止;11,变频器减速停止,减速时间由 Pr294 调整;12,自动起动功能的减速停止,减速时间由 Pr294 调整
262	减速开始频率设定	×	○	○	0～20Hz	设定减速开始时的频率下降值
263	减速开始频率选择	×	○	○	0～120Hz	运行频率小于设定频率,直接从运行频率开始减速;运行频率大于设定频率,从减速起始频率开始减速
264	第 1 减速斜率	×	○	○	0～3600s	设定减速开始段,从 Pr20 加减速减速到 0 的时间
265	第 2 减速斜率	×	○	○	0～3600s	设定减速结束段,从 Pr20 加减速加速到 0 的时间
266	减速转换点	×	○	○	0～400Hz	第 1 减速斜率与第 2 减速斜率转换点的频率设定
294	瞬间断电/电压过低时的制动调整	×	○	○	0%～200%	减速斜率的附加调整

注：○—可使用；□—可使用部分功能；×—不能使用。

制动与自由停机由 Pr250 选择，Pr250 = 9999，只要转向信号撤销，电动机将减速停止；Pr250 ≠ 9999，转向信号撤销后，在 Pr250 设定时间内制动停止，延时时间到后转为自由停车。制动过程与变频器配置、系统结构有关，可用电阻制动、直流制动或外部机械制动。内置标准制动电阻，制动频繁、制动能量大时，需配备外置制动电阻；也可采用三菱功率因数转换器。

Pr30 用于选择制动器件，Pr30 = 0，采用内置制动单元与电阻，此方式时制动率 Pr70 无效，Pr70 自动选择 2%；Pr30 = 1，采用外置制动电阻，制动率由 Pr70 设定；Pr30 = 2，采用功率因数转换器，仅 A540、A740 系列变频器，此方式时 Pr70 无效。用外置制动电阻时，需 Pr70 设定限制制动电阻功率；用内置制动电阻时，不能更改 Pr70 值。

（2）直流制动功能　对电动机进行能耗制动。当输出频率下降到 Pr10

时，自动起动直流制动功能并保持 Pr11 设定时间，并设 Pr11 ≠ 8888；由 X13 直接控制直流制动，Pr11 = 8888，X13 = 1 时，电动机直流制动，X13 = 0 时，撤销制动。制动过程见图 5-90。加入到电动机绕组的直流电压由 Pr12 用额定电压百分率设为 4% 或 2%。增加直流电压提高制动速度，可能引起电动机发热。

（3）零速制动与伺服锁定　A740 系列新增功能。零速制动是电动机直流制动完成后，变频器仍维持励磁电流，输出频率 0，电动机保持输出转矩；伺服锁定指电动机完成直流制动后维持励磁电流输出，可进行闭环位置调整，防止电动机受外力而运动，自动纠正位置偏移。

伺服锁定功能只用于具有闭环位置反馈功能的变频器，无位置反馈调速系统只能用零速制动功能。Pr802 = 0，闭环调速系统为零速制动，Pr802 = 1，伺服锁定功能；Pr850 = 0，开环调速系统为直流制动功能，Pr850 = 1，零速制动功能。

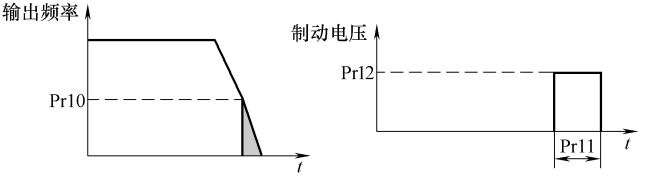
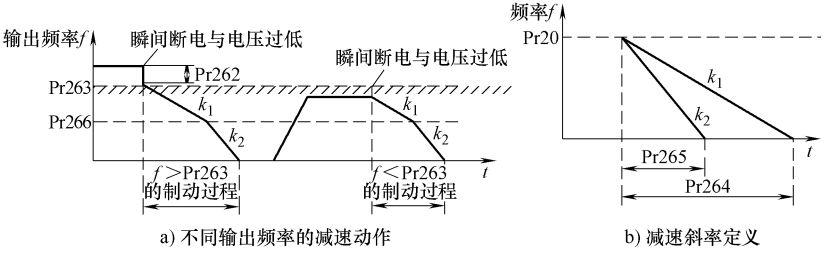


图 5-90　直流制动过程



a) 不同输出频率的减速动作　　b) 减速斜率定义

图 5-91　瞬间断电/电压过低时的制动过程

（4）瞬间断电与电压过低时制动　用于 A540、A740 系列变频器，功能有区别。

① FR—A540。瞬间断电/电压过低时停止由 Pr261 确定，Pr261 = 0，瞬间断电/电压过低时变频器关闭输出，电动机自由停车；Pr261 = 1，变频器

制动，如瞬间断电与电压过低发生时刻的，运行频率大于 Pr263 值，变频器以运行频率减去 Pr262 频率的值作减速起始频率开始减速；如运行频率小于 Pr263 值，从运行频率开始减速，见图 5-91a；瞬间断电/电压过低时制动过程分为两段，Pr266 设定分界点频率，Pr264、Pr265 分别设定减速斜率，从 Pr20 加减速频率到 0 的时间，减速斜率 k_1、k_2 根据参数计算，见图 5-91b。当减速停止时，即使外部电源恢复正常，电动机继续减速，如需电动机重新起动，则先取消 STF/STR 信号，并再次将其置 1。

② FR-A740。瞬间断电/电压过低时制动，Pr261 = 0、1、2、11、12，Pr261 = 0 或 1，功能同 FR-A540；Pr261 = 2，自动起动，只要外部电压恢复，电动机重新加速；变频器自动起动有延时功能，Pr57 = 9999 时，电源恢复后不能重新起动变频器；Pr261 = 11 或 12，断电制动过程与 Pr261 = 1 或 2 相同，考虑到外部断电后可能引起直流母线制动能量不足，选择 Pr261 = 11 或 12 后，减速时间由 Pr294 调整，是原设定值的 0% ~ 200%。

四、失速防止

开环加减速或突然加重负载时，可采用“失速防止”功能。根据变频器实际输出电流，自动调整输出频率，防止失速现象发生。功能生效后，如电流超过限制值，变频器将自动停止加减速，当电流下降到限制值后，再继续加减速，见图 5-92。此动作后，设 Pr154 = 1，仅控制输出频率，输出电压不变；Pr154 = 0，控制输出频率变化，同时降低输出电压。在额定频率以上调速区域采用恒功率调速，随着转速的升高，电动机输出转矩应同步下降，失速防止动作电流由参数自动调整，见图 5-93；电动机额定频率以下恒转矩调速段，输出转矩与失速防止电流值均不变；在额定频率以上恒功率调速段，电动机输出转矩将随频率升高而下降，失速防止电流值也下降。

1. 参数

失速防止功能设定参数见表 5-34。失速防止起始值 Pr22、Pr48、Pr114 分别为第 1、2、3 电动机所对应图 5-93 中恒转矩输出区的失速防止电流值；修正开始频率 Pr66、Pr49、Pr115 分别为第 1、2、3 电动机所对应图 5-93 中恒转矩/恒功率转换点频率。

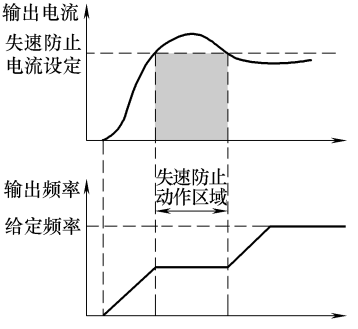


图 5-92 加速时失速防止

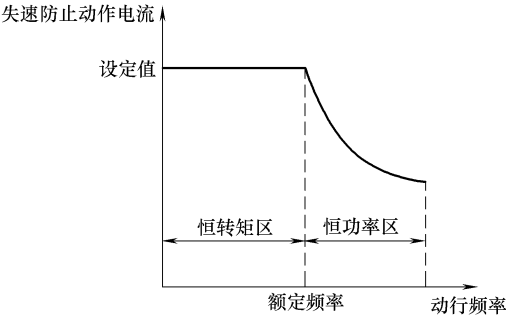


图 5-93　实际失速防止电流控制曲线

表 5-34　失速防止功能设定参数

Pr	名　　称	E500	A540	A740	设定范围	含　　义
22	失速防止电流起始值 K	○	○	○	0% ~200%	0,功能无效;9999,失速防止电流由外部模拟量输入方式指定
23	失速防止电流修正系数 K_1	○	○	○	0% ~200%	9999:由外部模拟量输入方式指定
66	失速防止修正开始频率 f_1	○	○	○	0 ~400Hz	通常为额定频率
148	失速防止输入偏移	×	○	○	0% ~200%	仅 Pr22 = 9999 时,对模拟量输入有效
149	失速防止输入增益	×	○	○	0% ~200%	
154	失速防止时的电压控制	×	○	○	0、1	0,自动降低;1,不变
156	失速防止功能生效选择	○	○	○	0 ~31、100	
48	第 2 电动机失速防止电流起始值 K	×	○	○	0% ~200%	意义同第 1 电动机对应参数
49	第 1 电动机失速防止修正开始频率 f_1	×	○	○	0 ~400Hz	
114	第 3 电动机失速防止电流起始值 K	×	○	○	0% ~200%	
115	第 3 电动机失速防止修正开始频率 f_1	×	○	○	0 ~400Hz	
858	模拟量输入端子 4 功能选择	×	×	○	4	设“4”,模拟量输入端 4 用于失速防止电流输入
868	外部模拟量输入端子 1 功能选择	×	×	○		设“4”,模拟量输入端 1 用于失速防止电流输入

注：○—可设定；×—不能设定。

2. 电流调整

运行额定频率以上时，为输出电压不变的恒功率调速段，输出电流随转速升高降低。对 Pr66、Pr49、Pr115（第 1、2、3 电动机）设定频率（通常为电动机额定频率）以上区域，如运行频率 f，失速防止电流的自动修正见图 5-94，按如下公式自动修正：

$$\left.\begin{aligned} &\text{失速防止电流} = A + B\left(\frac{K-A}{K-B}\right)\left(\frac{K_1-100}{100}\right) \\ &A = \frac{f_1 K}{f} \qquad B = \frac{f_1 K}{400} \end{aligned}\right\} \tag{5-12}$$

失速防止电流可直接用电压输入端，对 A540 失速防止电流规定在模拟输入端 1/5 输入；对 A740 由 Pr858、Pr868 选择模拟量输入端 4/5 或 1/5 为失速电流输入，此时模拟量输入端定义为“4”。当失速防止电流用模拟量输入端调节时，设 Pr22 = 9999；由 Pr148、Pr149 设定电压与失速防止的增益与偏移。Pr148 设定电压 0V 时失速防止电流；Pr149 设定电压最大值 10V（5V）时所对应的失速防止电流；0V 与最大值间输入按线性变化见图 5-95。

3. 功能生效

Pr156 用于选择失速防止功能有效范围与发生失速防止过电流报警 OL 时运行状态，见表 5-35。

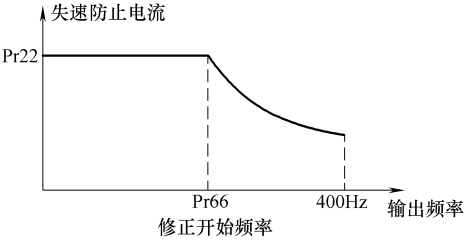


图 5-94　失速防止电流的自动修正

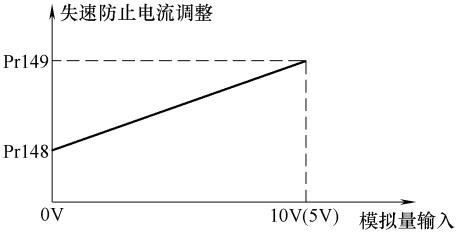


图 5-95　失速防止电流的外部输入

表 5-35　失速防止功能有效范围设定

Pr156		失速防止功能生效选择				
		负载突变	加速过程	正常运行	减速过程	OL 报警时的继续运行
0		○	○	○	○	○
1		×	○	○	○	○
2		○	×	○	○	○
3		×	×	○	○	○
4		○	○	×	○	○
5		×	○	×	○	○
6		○	×	×	○	○
7		×	×	×	○	○
8		○	○	○	×	○
9		×	○	○	×	○
10		○	×	○	×	○
11		×	×	○	×	○
12		○	○	×	×	○
13		×	○	×	×	○
14		○	×	×	×	○
15		×	×	×	×	○
16		○	○	○	○	×
17		×	○	○	○	×
18		○	×	○	○	×
19		×	×	○	○	×
20		○	○	×	○	×
21		×	○	×	○	×
22		○	×	×	○	×
23		×	×	×	○	×
24		○	○	○	×	×
25		×	○	○	×	×
26		○	×	○	×	×
27		×	×	○	×	×
28		○	○	×	×	×
29		×	○	×	×	×
30		○	×	×	×	×
31		×	×	×	×	×
100	运行	○	○	○	○	○
	制动	×	×	×	×	○
101	运行	×	○	○	○	○
	制动	×	×	×	×	○

注：○—功能有效；×—功能无效。

五、断电重新起动

运行时断电时间超过 15ms，变频器瞬时断电或电压过低报警，触点 A-C 通，转停止状态。如断电时间超过 15ms 自动恢复运行，需 CS = 1，即与工频切换，设定参数见表 5-36，功能设定见图 5-96。电压恢复后变频器允许电动机继续自由运行时间由 Pr57 设定，Pr57 = 9 999 时无效；电压恢复后

变频器电压上升时间由 Pr58 设定，频率上升时间由 Pr611 设定，仅带频率搜索功能的重新起动方式有效。

表 5-36 断电重新起动功能设定参数

Pr	名称	E500	A540	A740	设定范围	含义
57	重新起动自由运行时间	○	○	○	0～5s	电压恢复后电动机继续自由运行时间 9 999,不重新起动
58	重新起动的电压加速时间	○	○	○	0～60s	电压恢复后,变频器电压上升时间
162	重新起动动作选择	×	○	○	0/1	0,频率搜索有效;1,无频率搜索功能
163	重新起动的第 1 级电压上升缓冲时间	×	○	○	0～20s	电压恢复后,变频器的第 1 段电压上升时间
164	重新起动的第 1 加速电压	×	○	○	0%～200%	电压恢复后,第 1 段电压上升时间内上升的电压值
165	重新起动失速防止起始值	×	○	○	0%～200%	断电重新起动时的失速防止电流值
299	重新起动方向检测功能	×	×	○	0/1	0:无效;1:有效
611	重新起动的频率加速时间	×	○	○	0～15s	电压恢复后,变频器的频率上升时间

注：○—功能有效；×—功能无效。

A540/A740 系列变频器还可由 Pr162～Pr165、Pr611、Pr299 设定。Pr162 为选择重新起动，Pr162 = 1，无频率上升控制功能，电源恢复后电动机先自由运行 Pr57 时间，再将断电时所存储频率值作为变频器频率给定，按 Pr58 时间控制输出电压；Pr162 = 0，同时具有电压与频率上升控制功能。电源恢复后起动的过程，先自动检测当前电动机速度对应的频率，作为频率初始给定值，控制输出电压按 Pr58 时间；再按 Pr611 加速，控制输出频率从升压阶段的初始给定值上升到断电时存储的频率值，即带频率搜索功能的重新起动。如主电路与控制电路同时掉电，断电瞬间频率无记忆，只能通过外部给定值进行加速。

当电动机功率大、重载时，Pr163、Pr164 对重新起动时电压上升过程两段控制加速，见图 5-97；Pr165 设断电重新起动时失速防止电流；Pr611 设断电重新起动时频率上升速度，重新起动频率加速度等于线性加减速参考频率 Pr20 与 Pr611 设定时间之比。如 Pr611 = 9 999，加速时间为 Pr7 的时间；仅对 A740，Pr299 = 1 时，断电重新起动可检测电动机实际转向。

六、报警重新起动

为避免外部瞬时干扰、非正常停机，采用报警重新起动功能自动复位，

由 Pr67 加以设定，可持续 1 ~ 10 次，两次起动间隔时间由 Pr68 设定；Pr69 为重新起动次数。设定参数见表 5-37，对于 E500 系列变频器，Pr65 不能设定 4、5。选择参数见表 5-38。

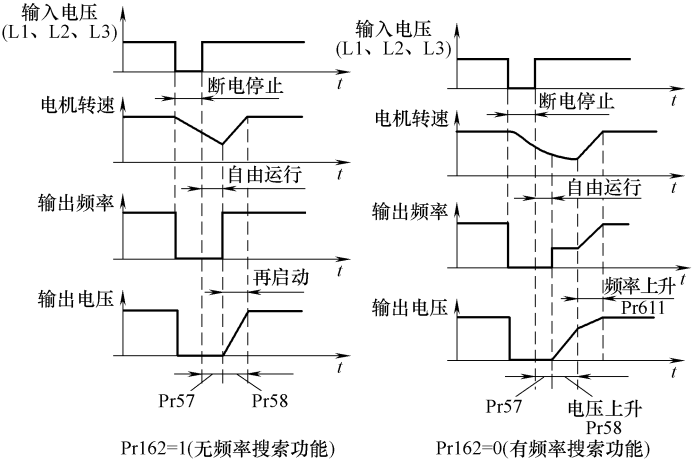


图 5-96　断电重新起动功能设定

七、PID 调节

过程控制，可构成 PI、PD、PID，见图 5-98。用“给定 + 反馈”结构也可直接进行误差控制。“给定 + 反馈”的给定输入可来自电压输入端 2/5；可由 Pr133、Pr902/Pr903 设定；可网络数据输入，仅针对 FR—A740 系列。反馈输入可来自变频器电流端 4/5 或网络数据输入（仅针对 FR—A740 系列）。仅对 A540/A740，PID 调节直接用误差输入控制时，电压端 1/5 为系统误差信号。由 Pr128 选择功能，Pr73 设定模拟量输入类型与范围，对 PID 调节给定与误差都有效。

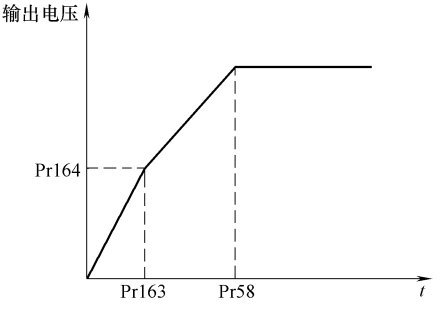


图 5-97　A540/A740 两级起动功能

1. 硬件连接

典型 PID 调节系统见图 5-99，用 4 ~ 20mA 的 2 线或 3 线传感器，DC 24V 一般外供。

表 5-37 报警重新起动功能设定参数

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	出 厂 设 定
65	报警后的重新起动位功能设定	□	○	○	0 ~ 5	见表 5-39
67	报警后的重新起动次数	○	○	○	1 ~ 10 101 ~ 110	设 1 ~ 10，重新起动 1 ~ 10 次，重新起动阶段不输出报警；设 101 ~ 110，重新起动 1 ~ 10 次，重新起动阶段输出报警
68	报警后的重新间隔时间	○	○	○	0. 1 ~ 360s	1
69	报警后的重新起动次数	○	○	○	0 ~ 10	0

注：○—可用；□—可用部分功能。

表 5-38 报警重新起动内容选择参数

报警代码	报警内容	Pr65 设定					
		0	1	2	3	4	5
E. OC1	加速时短时过电流	○	○	×	○	○	○
E. OC2	运行时短时过电流	○	○	×	○	○	×
E. OC3	减速时短时过电流	○	○	×	○	○	○
E. OV1	加速时短时过电压	○	×	○	○	○	×
E. OV2	运行时短时过电压	○	×	○	○	○	×
E. OV3	制动时短时过电压	○	×	○	○	○	×
E. THM	电动机过电流	○	×	×	×	×	×
E. THT	变频器过电流	○	×	×	×	×	×
E. IPF	瞬时停电	○	×	×	×	○	×
E. UVT	输入电压过低	○	×	×	×	○	×
E. BE	制动回路异常	○	×	×	×	○	×
E. GF	输出侧对地短路	○	×	×	×	○	×
E. OHT	外部热继动作	○	×	×	×	×	×
E. OLT	失速防止功能动作	○	×	×	×	○	×
E. OPT	变频器选件连接错误	○	×	×	×	○	×
E. PE	参数写入错误	○	×	×	×	○	×
E. MB1 ~ E. MB7	升降负载机械制动动作错误	○	×	×	×	○	×
E. OSD	速度偏差过大	○	×	×	×	○	×

注：○—报警清除；×—不能清除。

2. 输入/输出定义与参数定义

与 PID 调节有关的输入/输出信号，见表 5-39，变频器与 PID 功能设定参数见表 5-40。

3. PID 调节系统

PID 调节功能由 Pr128 加以设定。Pr128 = 0，PID 无效；Pr128 = 10，模拟

量输入端 1/5 为误差输入，E500 不可用，误差增大时输出频率减小；Pr128 = 11，模拟量输入端 1/5 为误差输入，E500 不可用，误差增大时输出频率增加；Pr128 = 20，“给定 + 反馈”，2/5 是给定模拟量，4/5 为反馈模拟量，误差增大时输出频率减小；Pr128 = 20，“给定 + 反馈”，2/5 为给定模拟量，4/5 为反馈模拟量，误差增大时输出频率增大；Pr128 = 50，仅对 FR—700 网络输入误差，误差增大时输出频率减小；Pr128 = 51，仅对 FR—700 网络输入误差，误差增大时输出频率增加；Pr128 = 60，“给定 + 反馈”，对 FR—700 给定输入与反馈输入均来自网络，误差增大时输出频率减小；Pr128 = 61，“给定 + 反馈”，对 FR—700 给定输入与反馈输入均来自网络，误差大时输出频率增加。典型系统 Pr128 = 10、11 与 20、21 时的 PID 调节结构见图 5-100。

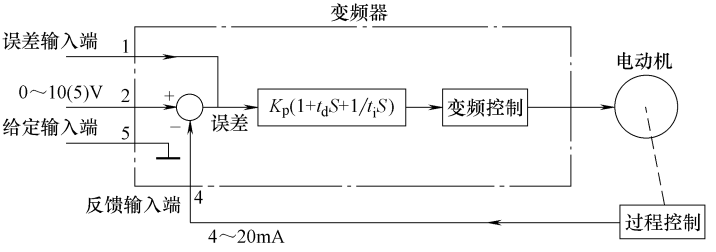


图 5-98　变频器 PID 调节系统

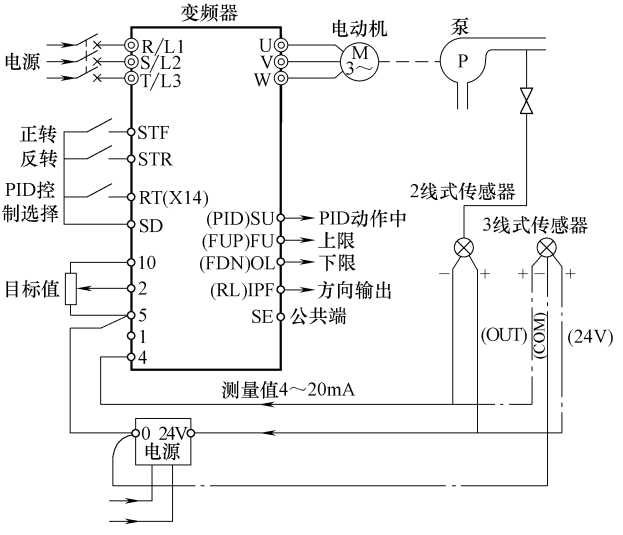


图 5-99　变频器典型 PID 调节系统

表 5-39　PID 调节系统输入/输出信号定义

信号	功能代号	信号功能	信号作用	参　　数
输入信号				
X14	14	PID 控制	X14 = 1,生效变频器的 PID 调节	Pr180 ~ Pr186 设定 14,指定输入连接端
X64	64	PID 正/负切换	X64 = 1,“负作用”与“正作用”功能切换	Pr180 ~ Pr186 设 64,指定输入连接端; Pr128 设 10/11、20/21 功能将被互换
2/5	—	PID 目标值输入	PID 频率给定值为外部模拟量输入	Pr128 = 20/21,Pr133 = 9999 生效 PID 目标值的模拟量输入功能;Pr73 选给定输入类型与范围
4/5	—	PID 反馈输入	PID 测量反馈值为外部模拟量输入	Pr128 = 20/21,Pr133 = 9999 生效 PID 测量值的模拟量输入功能;Pr267 选反馈输入类型与范围
1/5	—	PID 误差输入	PID 调节时误差为外部模拟量输入	Pr128 = 10/11,Pr13 = 9999 生效 PID 调节误差模拟量输入功能;Pr73 选误差输入类型与范围
PU 接口	—	PID 目标值 PU 输入	PID 调节时频率给定值由 PU 输入	Pr128 = 20/21,Pr133 = 0% ~ 133% 生效 PID 目标值的 PU 输入功能
RS485 网络接口	—	PID 目标值通信输入	PID 调节时频率给定值由网络通信输入	Pr128 = 60/61,Pr133 = 0% ~ 133% 生效 PED 目标值与反馈值的网络输入
		PID 误差值通信输入	PID 调节时误差值由网络通信输入	Pr128 = 50/51,Pr133 = 0% ~ 133% 生效 PID 调节误差的网络输入
输出信号				
FDN	14/114	反馈下限	测量反馈值已达到或低于下限设定	Pr128 = 20/21 或 60/61,Pr133 = 0% ~ 133% 生效 PID 目标值与反馈值输入功能;设定下限 Pr132;Pr191 ~ Pr196 设 14 或 114,指定信号输出连接端
FUP	15/115	反馈上限	测量反馈值已经达到或超过上限设定	Pr128 = 20/21 或 60/61,Pr133 = 0% ~ 133% 生效 PID 目标值与反馈值的输入功能;设定上限 Pr131;Pr191 ~ Pr196 设定 15 或 115,指定信号输出连接端
RL	16/116	转向输出	RL = 1,电动机正转; RL = 0,电动机反转或停止	Pr191 ~ Pr196 设定 15 或 115,指定信号输出连接端
PID	47/147	PID 调节生效	PID 调节生效时,输出 1	Pr191 ~ Pr196 设定 47 或 147,指定信号输出连接端
SLEEP	70/170	PID 调节中断	PID 调节中断时,输出 1	Pr191 ~ Pr196 设定 70 或 170,指定信号输出连接端

表 5-40　PID 调节器功能设定参数

参数号	名 称	E500	A540	A740	设定范围	出 厂 设 定
PID 调节器功能						
Pr127	快速上升频率	×	×	○	0～400Hz,9999	PID 频率快速上升功能频率设定;9999,速度快速上升功能无效
Pr128	PID 调节器结构设定	□	□	○	0、10/11;20/21;50/51、60、61	见下述
Pr129	比例增益设定	○	○	○	0.1%～1000%,9999	比例增益 $K_p=1/(Pr129)$
Pr130	积分时间设定	○	○	○	0.1～3600s	设定 PID 积分时间
Pr131	上限设定	○	○	○	0%～100%	设定反馈值上限,输超过上限,变频器输出 FUP 信号
Pr132	下限设定	○	○	○		设定反馈值下限,输超过上限,变频器输出 FDN 信号
Pr133	PU 模式的 PID 给定	○	○	○		设定 100% 对应于 Pr903 的值
Pr134	微分时间设定	○	○	○	0.1～3600s	设定 PID 微分时间
Pr575	PID 调节中断检测延时	×	×	○	0～3600s	PID 中断功能设定
Pr576	PID 调节中断检测频率	×	×	○	0～400Hz	
Pr577	PID 调节中断解除误差	×	×	○	900%～1100%	

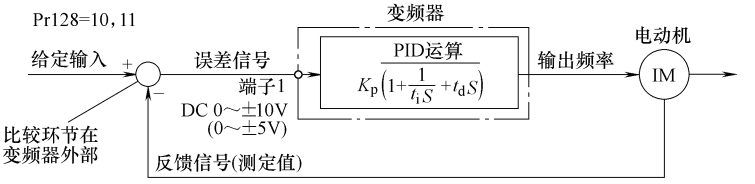
注：○—可用；□—可用部分功能；×—不能用。

4. PID 调节的频率快速上升

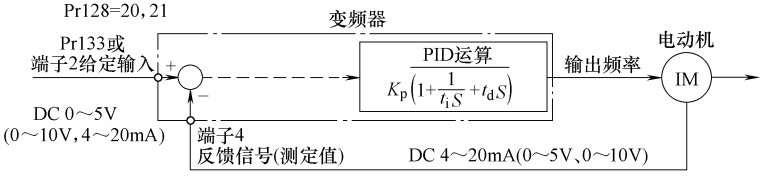
对 FR-700 系列变频器，用于加快系统起动速度，电动机速度快速升到 Pr127 值，再自动转为 PID 调节，此时状态输出信号 PID＝1，见图 5-101。

5. PID 调节的自动中断

对 FR-A700 系列变频器，PID 调节时，为避免电动机长时间低频运行，采用此自动中断功能，可直接停止变频器，直到误差超允许值再起动变频器。由 Pr575 设检测延时。图 5-102 中 PID 调节时，如输出频率小于 Pr576 设定，且保持时间大于 Pr575 设定值，则变频器停止输出，直到调节系统误差大于 Pr577 设定值，重新起动输出。PID 中断时，可通过变频器开关量输出端（设 70 或 170）输出中断状态信号。



a) 误差输入有效



b) 给定 /反馈输入有效

图 5-100　PID 调节系统的典型结构

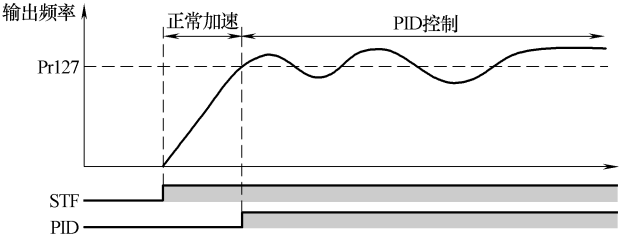


图 5-101　PID 调节的频率快速上升功能

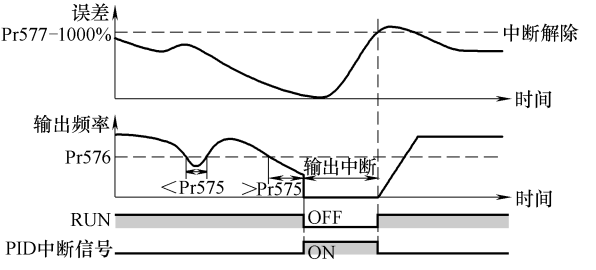


图 5-102　PID 中断功能

6. 注意事项

① PID 电压给定输入、电流反馈输入由 Pr902/903、Pr904/905 调整偏移和增益。

② PID 生效时，X14 = 1，如 RH/RM/RL、JOG 有输入，则中断 PID 而执行多速与点动。

③ Pr128 = 20、21 时，如给定、反馈与误差同时输入，则给定、反馈间计算误差将与误差输入信号叠加后共同生效。

④ 当 Pr95 = 1 时，PID 无效；对于 A540/A740 系列变频器，Pr79 = 5 或 6 时，PID 无效。

⑤ 为将电流输入端 1/5 用于 PID，Pr22 不设 9 999。Pr22 = 9 999 时，该输入端作“失速防止”调节。

八、工频切换

如果变频调速长时保持额定频率运行，应进行工频/变频器切换，以提高使用寿命。此功能生效后，根据频率要求，电动机电网受电与变频器输出之间只能采用外部操作（包括外部/PU 组合模式），E500 不可用。另外，必须严格按照规定顺序切换工频/变频器，且电路互锁严格。变频器控制电源独立，主电源回路安装接触器。工频运行时电动机有热继电器保护装置，此保护信号可送到变频器开关量输入端。

对 A540/A740 系列变频器，只需设参数，输入/输出连接正确即可自动切换。既可在外部工频/变频器切换，也可在变频器实际输出频率达到设定值时自动切换。对 A740 系列变频器还可设定工频范围，当频率在该范围内时，可自动切换到工频。由 Pr180 ~ Pr186、Pr190 ~ Pr195 定义工频/变频器切换。

1. 开关量输入

① MRS。工频/变频器切换生效，对 A540 系列变频器，切换信号直接用 MRS 输入；对 A740 系列变频器，MRS 输入需要定义代号 24，接到相应输入端；MRS = 1，允许工频/变频器切换；MRS = 0，不允许工频/变频器切换，固定变频器运行。

② CS。工频/变频选择，Pr180 ~ Pr186 定义代号 6，并进行连接，CS = 1，变频器运行，CS = 0，工频运行。

③ STF/STR。起动与转向，停止时“0”；输入接到 STF/STR 输入端。

④ OH。外部热继电器输入信号，Pr180 ~ Pr186 定义代号 7，并进行连接，OH = 1，允许切换，OH = 0，电动机外部热继电器动作，禁止切换。

⑤ RES。运行状态初始化，对 A540 系列变频器初始化信号输到 RES；对 A740 系列变频器定义代号 62，并将信号接至输入端。运行初始化后，

Pr75 设“变频器复位始终有效”，RES = 1，变频器工频切换初始化；RES = 0，变频器运行。

2. 开关量输出

① MC1。变频器主接触器输出，Pr190 ~ Pr195 定义代号 17，并进行连接，用于控制变频器主电源 ON/OFF，MC1 = 1，接主电源，MC1 = 0，断开主电源。

② MC2。工频运行接触器输出，Pr190 ~ Pr195 定义代号 18，并进行连接，用于控制电动机与工频电源直接连接回路的 ON/OFF，MC2 = 1，电动机接工频电源；MC2 = 0，工频电源断开。

③ MC3。变频器运行接触器输出，Pr190 ~ Pr195 定义代号 19，并进行连接，用于电动机与变频器连接回路的 ON/OFF。MC3 = 1，接通电动机与变频器，MC3 = 0，断开电动机与变频器连接。

3. 切换控制

工频切换需要利用 DI/DO 信号，见表 5-41。

表 5-41　工频切换的控制

<table>
<tr><th rowspan="2">变频器状态</th><th colspan="3">输入信号</th><th colspan="3">输出信号</th><th rowspan="2">电动机状态</th></tr>
<tr><th>MRS</th><th>CS</th><th>STF/STR</th><th>MC1</th><th>MC2</th><th>MC3</th></tr>
<tr><td>电源起动</td><td colspan="3">OFF</td><td>OFF→ON</td><td rowspan="3">OFF</td><td>OFF→ON</td><td rowspan="2">停止</td></tr>
<tr><td>变频器复位
（RES = 1）</td><td>ON</td><td>任意</td><td>任意</td><td>不变</td><td>不变</td></tr>
<tr><td>输出关闭
（MRS = 0）</td><td>OFF</td><td></td><td></td><td rowspan="5">ON</td><td>ON</td><td></td></tr>
<tr><td>变频器运行</td><td rowspan="3">ON</td><td>ON</td><td rowspan="3">ON</td><td>OFF→ON</td><td>ON</td><td>变频工作</td></tr>
<tr><td>工频运行</td><td>ON→OFF</td><td rowspan="2">ON→OFF</td><td>ON→OFF</td><td>工频运行</td></tr>
<tr><td>工频切换为变频</td><td>OFF→ON</td><td>OFF→ON</td><td>变频工作</td></tr>
<tr><td>停止</td><td></td><td>ON</td><td>ON→OFF</td><td rowspan="3">OFF</td><td>ON</td><td rowspan="3">停止</td></tr>
<tr><td>变频器过载
（OH = 0）</td><td colspan="3" rowspan="2">任意</td><td rowspan="2">OFF</td><td rowspan="2">OFF</td></tr>
<tr><td>变频器报警</td></tr>
</table>

4. 工频切换参数与电路

（1）工频切换参数　切换功能设定参数见表 5-42。

表 5-42　工频切换功能设定参数

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含 义
57	重新起动自由运行时间	○	○	○	0 ~ 5s	与重新起动功能通用
58	重新起动时的电压加速时间	○	○	○	0 ~ 60s	

（续）

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含义
135	工频/变频器切换功能	○	○	○		0,无效;1,切换有效
136	工频/变频器切换互锁时间	○	○	○	0～100s	设定工频/变频器转换时的动作延时
137	变频器起动等待时间	○	○	○		设定转为变频器运行时的起动延时
138	工频/变频器切换方式对变频器报警的响应	○	○	○	0/1	0,工频/变频接触器全部断开;1,自动切换到工频
139	变频器自动切换到工频频率	○	○	○	0～60Hz 9999	当输出频率大于设定值,自动切到工频。9999,不许自动切换
159	变频器的工频工作范围设定	×	×	○	0～10Hz 9999	当输出频率到Pr139且保持在本设定范围内时,自动切换到工频

注：○—功能可用；×—无此功能。

（2）工频切换电路　典型工频切换电路见图 5-103，该电路需要定义变频器参数。

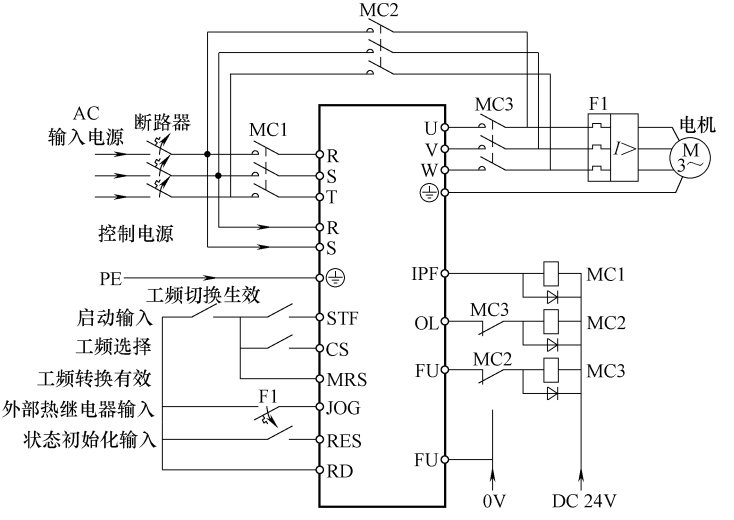


图 5-103　典型工频切换电路

① 对 A540。Pr185 = 7，JOG 用于连接外部热继电器；Pr186 = 6，CS 定义为工频/变频器切换；Pr192 = 17，IPF 定义为工频/变频器切换变频器电源输入接触器 MC1 的控制端；Pr193 = 18，OL 定义为工频/变频器切换工频控制接触器 MC2 的控制端；Pr194 = 19，FU 定义为工频/变频器切换变频器控制接触器 MC3 的控制端。

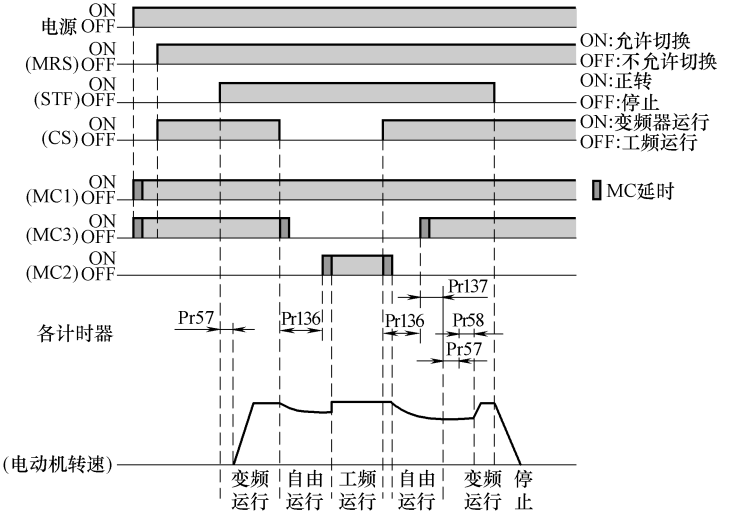


图 5-104　输入/输出信号与切换时序

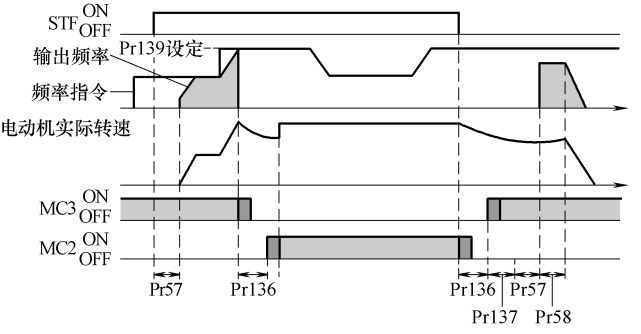


图 5-105　不指定工频范围自动切换

② 对 A740。在 A540 系列变频器基础上增加的设定功能，Pr187 = 24，MRS 用于工频/变频器切换功能输入；Pr189 = 62，RES 用于连接变频器运行状态初始化；变频器与工频运行接触器 MC2、MC3 互锁；变频器需要使用独立电源。

5. 工频切换动作

（1）外部信号控制切换　Pr139 = 9999 时不可以进行自动切换，由 CS 控制，切换与输出频率无关；CS = 1，变频器运行，接触器控制信号 MC1、MC3 输出“1”，MC2 为“0”；CS = 0，工频运行，接触器控制信号 MC1、MC3 输出“0”，MC2 为“1”。当电动机从工频切到变频器时，动作过程与变频器断电重新起动过程相同，由 Pr57、Pr58 设定，切换时序见图 5-104。

（2）不指定工频范围的自动切换　当 Pr139 ≠ 9999 时（A740 需要同时设定 Pr159 = 9999），为此种自动切换方式，见图 5-105。起动时先变频器运行，频率达到 Pr139 设定值时自动切到工频。此后，即使频率给定值小于 Pr139 设定值，也不自动回到变频器方式。但是，如果工频运行中变频器转向输入信号“0”，系统将自动回到变频器运行并制动。

（3）指定工频范围的自动切换　对 A740 系列变频器，设定 Pr139 ≠ 9999、Pr159 ≠ 9999 时，变频器根据实际输出频率自动、连续切换，只要输出频率在 Pr139 ± Pr159 设定范围内，均会自动切换到工频运行，见图 5-106。

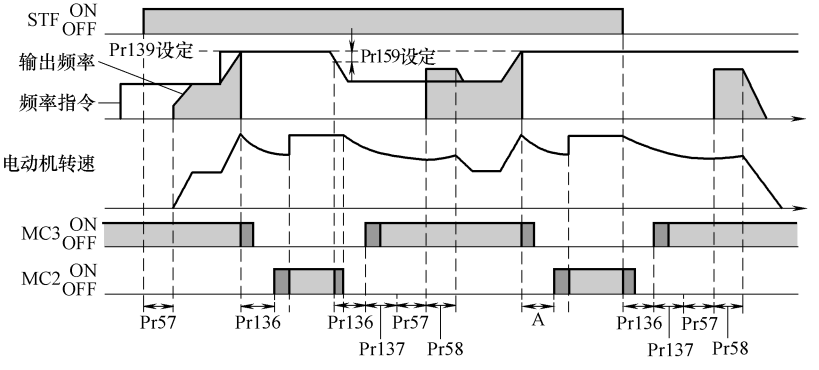


图 5-106　指定工频范围自动切换

九、升降负载控制

变频器开环运行时，可实现自动变速、挡块减速定位与机械制动功能。

对于闭环矢量控制的 FR—A740 系列变频器，通过转矩偏置，为升降负载提供用于补偿重力转矩的转矩偏置量。转矩偏置量附加给定形式叠加在速度调节器输出，偏置量由 1/5 端子输入或内部参数加以设定。

1. 自动变速

“负载转矩高速频率选择功能”，根据负载变化自动改变频率，提高升降负载运行速度。CS、X19 控制与选择，见图 5-107。功能设定参数见表 5-43。

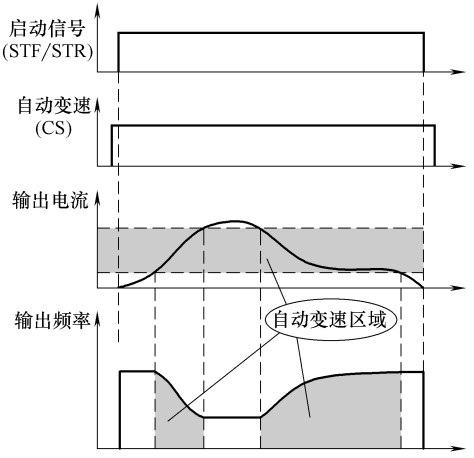


图 5-107　负载转矩高速频率选择功能

表 5-43　负载转矩高速频率选择功能设定参数

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含义
270	自动速度选择功能设定	×	○	○	0 ~ 3	0，挡块减速定位与负载转矩高速频率选择功能同时无效；1，挡块减速定位功能生效；2，负载转矩高速频率选择功能生效；3，挡块减速定位与负载转矩高速频率选择功能同时有效
271(上限)	平均电流	×	○	○	0% ~ 200%	高速运行的电流设定值
272(下限)		×	○	○		低速运行的电流设定值
273	平均电流计算参考	×	○	○	0 ~ 400Hz，9999	$f_0/2 \sim f_0$ 区间负载转矩高速频率选择功能生效
274	平均电流采样滤波	×	○	○	0 ~ 4000 ms	

注：○—可设定；×—无此功能。

2. 负载转矩高速频率选择

此功能生效时，变频器频率根据负载在多级变速 Pr4 与 Pr5 频率间线性变化，自动选择加速时的实际输出电流平均值。Pr273 用于设定自动速度选择生效区间，且为参考频率 f_0，自动速度选择实际生效区间为 $f_0/2 \sim f_0$，如 Pr273 = 9999，f_0 选 Pr5 的设定值。在此功能自动速度选择生效期间，变频器在加减速时自动调节频率。

① 平均输出电流不大于高速运行电流阈值 Pr271 时，自动选择 Pr4 为输出频率。

② 平均输出电流不小于低速运行电流阈值 Pr272 时，自动选择输出低速频率 Pr5。

③ 平均电流在高低速运行值时，输出频率按线性在 Pr4 与 Pr5 间变化，见图 5-108。

注意，速度自动调节功能只能选择外部操作或设定 Pr272 = 2 或 3；需设定 X19 = 1；最高频率 120Hz，计算频率大于 120Hz 时限制在 120Hz；不能与远程控制、程序运行、电流突变限制功能、PID 调节、位置控制等同时使用；X19、RH、RM、RL 同时生效时，优先选择多级变速，与 X19 无关。

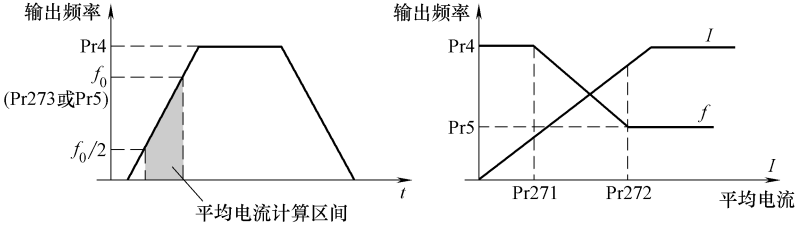


图 5-108　速度自动选择功能

十、挡块减速定位

1. 功能与参数

外部制动器制动时自动完成定位功能，定位平稳、精度高。挡块减速定位时，变频器完成减速，自动改变励磁电流、失速防止电流、PWM 载波频率等。动作过程见图 5-109，只用于矢量控制变频器，需要相应开关量输入，控制信号与变频器的关系见表 5-44，参数设定见表 5-45。

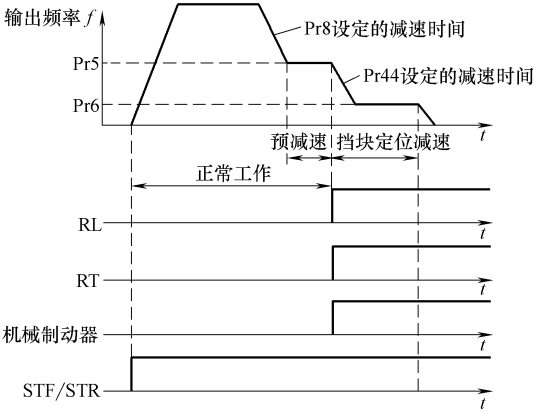


图 5-109　挡块减速定位的动作过程

表 5-44　挡块减速定位控制信号与变频器的关系

项 目	正常变频工作	挡块减速定位
功能选择	Pr270 = 0 或 2	Pr270；1 或 3
输入控制信号状态	RL、RT 有一个为 0	RL、RT 同时为 1
变频器输出频率	多级速度或模拟量输入给定	Pr6 设定
失速防止电流	Pr22 设定	Pr48 设定
励磁电流调整	—	按照 Pr275 设定的倍率调整
PWM 载波频率	Pr72 设定	Pr276 设定
减速时间	Pr8 设定	Pr44 设定
电流突变限制功能	有效	无效

表 5-45　挡块减速定位参数设定

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含 义
270	挡块减速定位/自动变速功能	×	○	○	0 ~ 3	0,挡块减速定位与负载转矩高速选择同时无效;1,挡块减速定位生效;2,负载转矩高速频率选择生效;3,挡块减速定位与负载转矩高速选择同时有效
6	挡块减速定位时的输出频率	×	○	○	0 ~ 30Hz	设定挡块减速定位制动器制动后的变频器输出频率
44	挡块减速定位时的减速时间	×	○	○	0% ~ 200%	从 Pr6 减速到 0 的减速斜率(与第 2 电动机减速时间共用)
48	挡块减速定位时失速防止电流	×	○	○	0% ~ 200%	挡块减速定位功能生效时的失速防止电流

（续）

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含义
275	挡块减速定位时励磁电流	×	○	○	0% ~ 1 000%	挡块减速定位功能生效时的励磁电流
276	挡块减速定位时的 PWM 载波频率	×	○	○	0% ~ 15kHz	挡块减速定位功能生效时的 PWM 载波频率

注：○一可用；× – 无此功能。

2. 挡块减速定位过程

设定 Pr270 = 1 或 3；升降负载挡块减速定位前，先将变频器预减速（Pr5 设低速），电动机降至低速；RL、RT 同时为“1”，选择挡块减速定位方式；接外部制动器强制制动；自动以 Pr44 减速到 Pr6；以 Pr6 运行，此时失速防止电流 Pr48、励磁电流 Pr275、PWM 载波频率 Pr276 生效；撤销 STF/STR 等，变频器停止，电动机位置由制动器保持。

3. 注意事项

① 只有 Pr270 = 1、3 时此功能有效。Pr270 = 1 时，挡块减速定位与多级变速同时生效；Pr270 = 3 时，挡块减速定位、多级变速与自动速度同时生效。

② 该功能可与负载转矩高速频率选择、多级变速控制同时使用，但不能与其他速度给定方式同时使用。在挡块减速定位功能与其他速度信号同时输入时，速度优先级选顺序为点动、挡块减速定位、多级变速、外部模拟量输入给定。

③ 该功能不能使用 PU 操作模式、程序操作模式；不能与定位、远程、PID、点动同时使用。

④ 为提高挡块减速定位时输出转矩，由 Pr275 提高励磁电流，但会引起过电流报警，一般 Pr275 = 130% ~180%。

⑤ 挡块减速定位时，电动机在机械制动，因此定位完成后及时撤销功能。

十一、机械制动功能

1. 功能与参数

实际使用时需要增加机械制动器防止负载自动脱落，当由 Pr60（A540）或 Pr292（A740）设定“机械制动的升降负载运行”方式时，Pr60/Pr292 =

7 或 8，起动与制动控制：起动时机械制动器处于制动状态，只有当输出频率、电流达规定值 Pr278/Pr279 后，才输出机械制动器松开信号，电动机继续加速到需要的速度；变频器制动时，先执行正常减速动作，一旦减速至 Pr282 设定值，变频器输出制动信号。制动器制动时电动机继续低速运行，直到转向信号停止。

只用于矢量控制变频器，且需要相应开关量输入，参数设定见表 5-46。

表 5-46　机械制动功能参数设定

Pr	名 称	E500	A540	A740	设定范围	含义
60	自适应加减速功能选择（A540）	×	○	×	0～12	机械制动时，设定 7 与 8。7，需检测制动器打开信号升降负载控制；8，不检测制动器打开信号升降负载控制
292	自适应加减速功能选择（A740）	×	×	○	0～12	
278	机械制动器松开频率设定	×	○	○	0～30Hz	起动时在设定频率到达后才打开，设定值以超过电动机转差频率 1Hz 为宜
279	机械制动器松开电流设定	×	○	○	0%～200%	起动时输出电流大于设定电流后才打开制动器，以 50%～90% 为宜
280	机制动器松开电流检测延时	×	○	○	0～2s	起动时 Pr278 到达后，延时设定时间后开始输出检测电流
281	机械制动器松开延时设定	×	○	○	0～5s	制动器松开信号输出后，延时设定时间后开始检测松开完成信号；或延时时间加 0.1s 后变频器开始加速
282	机械制动器制动频率设定	×	○	○	0～30Hz	减速时，制动器在设定频率到达后开始制动，设定值超过 Pr278 设定值 3～4Hz
283	机械制动器	×	○	○	0～5s	减速时，为制动器完全松开而设定的延时
284	减速报警功能设定	×	○	○	0/1	0，机械制动时不检测减速动作；1，机械制动时检测减速动作
285	速度超差检测值	×	○	○	0～30Hz	在闭环控制方式下，如速度误差超过本设定，制动器制动

注：○—可设定；×—无此功能。

2. 输入/输出信号

制动时，如 Pr60（A540）/Pr292（A740）= 7，则检查开关量信号，确认制动器状态；如 Pr60/Pr292 = 8，则不检查。制动器打开输入时，输入端为

BRI，功能代号为 15；制动器打开输出时，输出为 BOF，功能代号为 20/120。

3. 动作过程（见图 5-110）

① 制动器制动时，按转向信号起动变频器；变频器输出加速至 Pr278，因制动器未松开，输出电流上升快。

② 输出电流上升到 Pr278 频率，且电动机电流不小于 Pr279 设定值后，等待 Pr280 时间，制动器松开信号 BOF = 1。

③ 如 Pr60/Pr292 = 7，等待 BRI 信号；如 Pr60/Pr292 8，直接下一过程。

④ BRI = 1 或 Pr60/Pr292 = 8 时，继续以 Pr278 运行 Pr281 的时间。

⑤ Pr281 时间到，从 Pr278 向目标频率加速，完成起动过程。

初始起动时，从 0 ~ Pr278 频率段保持制动状态，而电动机输出转矩已到指定值，只要 Pr279 大于重力下落转矩，即使制动器松开，负载也不会因重力而下落。

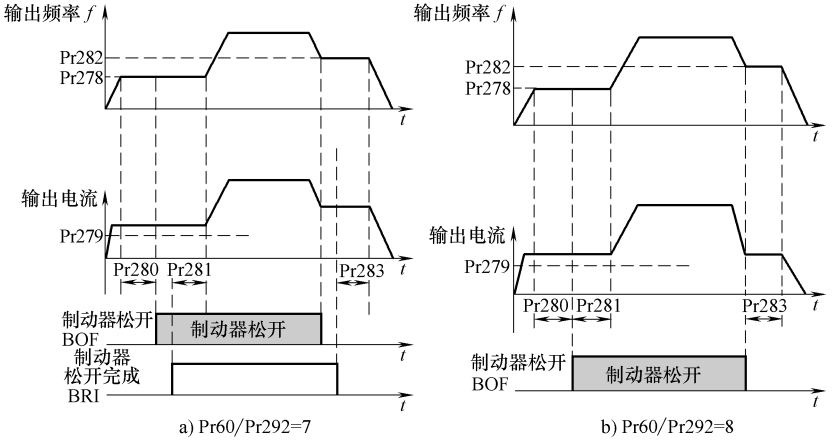


图 5-110　机械制动的动作过程

机械制动时，制动器松开，从运行频率向 Pr282 减速；到 Pr282 后，制动信号 BOF = 0；如 Pr60/Pr292 = 7，等待 BRI = 0；如 Pr60/Pr292 = 8，直接到一步；当 BRI = 0 或 Pr60/Pr292 = 8 时，继续以 Pr282 运行 Pr283 时间；Pr283 时间到，制动时从 Pr282 开始减速停止，制动完成。

制动最后阶段，从 Pr282 频率到 0 阶段，始终保持制动防负载下落；此前，电动机输出转矩足以克服重力下落转矩，负载不会因重力下落。

4. 出错报警（见表 5-47）

表 5-47 变频器机械制动动作时序出错报警

PU 显示	报警代号	通信出错代码	报警原因	报警处理
E. nb1	E. MB1	D5H	闭环控制时速度偏差过大	检查实际速度与 Pr60、Pr285 设定
E. nb2	E. MB2	D6H	减速过程不正确	检查减速动作与 Pr60、Pr284 设定
E. nb3	E. MB3	D7H	在电动机停止时打开了制动器	检查 Pr278、Pr280 设定与制动器连接
E. nb4	E. MB4	D8H	变频器起动后 2s 内仍未输出制动器打开信号 BOF	检查 Pr60、Pr278、Pr280 设定
E. nb5	E. MB5	D9H	制动器不能在 2s 内打开	检查制动器的连接与“制动器已经打开”BRI 信号输入的设定与连接
E. nb6	E. MB6	DAH	制动器打开信号 BOF = 1 时，“制动器已打开”BRI 信号变成“0”	
E. nb7	E. MB7	DBH	制动器打开信号 BOF 关闭后 2s，“制动器已打开”BRI 信号仍为“1”	

第六节 变频器的安装使用

一、变频器工作环境

1. 物理环境

（1）工作温度 运行环境温度为 -10 ~ 40℃，避免阳光直射。如温度高于 40 ~ 50℃，必须降低额定电流，否则导致功率器件损坏。对单元型装入电柜时，柜内温升 10℃，最高温度为 50℃。全封闭结构壁挂单元型装入电柜时，可装设通风管或取下单元外罩。低温 -10℃时，要确保不能冻结。

（2）环境温度 温度太高时，变频器内部易结露，导致绝缘性能下降或短路。必要时可在变频器柜内增加干燥剂或加热器。

（3）湿度 相对湿度 40% ~ 90% 为宜，防止水或水蒸气直接进入变频器内部。不可长期用于高湿度环境，否则绝缘性能降低或发生金属腐蚀。

（4）周围气体 避免腐蚀性、爆炸性或可燃性气体，腐蚀性气体造成元器件、引线、电路板等发生腐蚀及老化，变频器安装在封闭柜内，要能换

气。不可有金属粉尘进入柜内。

（5）振动　振动可能引起电气接触松动。故振动场合必须采取隔离措施，如隔离沟。

（6）抗干扰　防电磁干扰，控制线应加以屏蔽，母线与动力线间的距离应大于100mm。

2. 电气环境

电气环境包括频率变化、电压变化、电压不平衡、电源阻抗、电源谐波等。一般而言，频率变化应不大于2%，额定电压变化率不大于±10%，电源电压不平衡度不超过基波额定输入电压的3%。

（1）防止电磁抗干扰　变频器工作时，因存在整流、逆变过程，在周围产生电磁波，这些高频电磁波对仪表、电子设备有一定干扰，因此变频器内仪表与电子设备应选用金属外壳，所有电器元件应可靠接地，各元器件、仪表间应采用屏蔽线连接，且屏蔽线可靠接地。

（2）防止变频器输入高电压　尽管变频器输入端有过电压保护，但如高压时间长，可能造成输入端损坏，必须核实输入的电压、相数，采用独立的供电电源。

（3）布线

1）主电路电缆。主电路电缆选用时必须考虑容量、短路保护和导线损耗。变频器输入电流有效值比电动机电流大。使用交流电抗器和直流电抗器，功率因数不同。变频器与电动机连接电缆尽量短，变频器输出低频率时，输出电压低，线损大。变频器与电动机间的线路压降不能超过额定电压的2%。如用专用变频器时，有条件时可对变频器输出电压进行补偿，则线路压降可为额定电压的5%。允许压降给定时，主电路导线电阻应满足

$$R_C \leqslant \frac{1\,000\Delta U}{\sqrt{3}LI} \tag{5-13}$$

式中　R_C——单位长电线电阻值（Ω/km）；

ΔU——容许压降（V）；

L——一相电线的长度（m）；

I——电流（A）。

2）控制电路电缆。变频器控制电路信号微弱，易受强电场或高频杂散电磁波影响，易受主电路高次谐波及电源侧振动影响，控制电路电缆也必须屏蔽。

① 电缆种类选择。控制电缆的选用表 5-48。

表 5-48 控制电缆的选用

编号	电缆名称	导体截面积/mm^2	使用条件			备注
			强电流电路	弱电流电路	与强电流电路接通	
1	软铜屏蔽同轴绞合控制用乙烯绝缘电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	
2	软铜屏蔽对绞控制用乙烯绝缘乙烯电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	
3	各对软铜屏蔽对绞控制用乙烯绝缘乙烯电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	软铜带间要绝缘
4	铜铁屏蔽同轴绞合控制用乙烯绝缘乙烯电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	
5	铜铁屏蔽对绞控制用乙烯绝缘乙烯电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	
6	同轴绞合控制用乙烯绝缘乙烯电缆	1.0,1.5,2.5	√	√	√	
7	总软铜屏蔽同轴绞合计测控制用乙烯绝缘乙烯电缆	<0.5	×	√	×	
8	总软铜屏蔽对绞控制用乙烯绝缘乙烯电缆	<0.5	×	√	×	
9	各对软铜屏蔽对绞控制用乙烯绝缘乙烯电缆	<0.5	×	√	×	软铜带间要绝缘
10	同轴绞合控制用乙烯绝缘乙烯电缆	<0.5	×	√	×	

② 电缆截面积。一般采用 1.5mm^2 或 2.5mm^2。当铺设距离短时，可用 0.75mm^2。

③ 电缆分离。主电路与控制电路电缆分离铺设，相隔距离符合电气设备安装标准。

④ 电缆屏蔽。如控制电缆在很小区域与主电路电缆无法分离或分离距离很小，控制电缆必须屏蔽，如将电缆封入接地金属管内、将电缆置入接地金属通道内、采取屏蔽电缆。

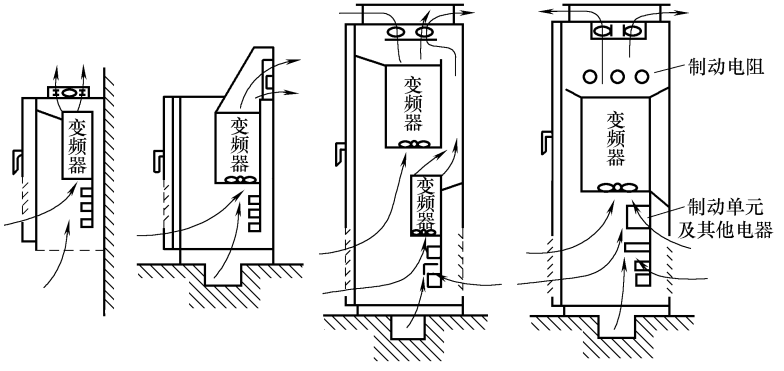
⑤ 采用绞合电缆。4～20mA、1～5V 电路电缆较长时，用绞合线，绞合间距小，用屏蔽铠装电缆。

⑥ 铺设路线。电磁感应干扰大小与电缆长度成正比，控制电缆铺设一般不超过 200m。

⑦ 电缆接地。4 ~ 20mA、1 ~ 5V 弱电压电流电路有一接地线，该接地线不能作为信号线。

（4）变频器的通风散热　变频器的效率约为 98%，2% 转为热能，柜内需要散热，且远大于一般开关电器的散热量。图 5-111 是一般变频器柜内通风散热示意图，图 5-111a 为挂壁式电柜顶部安装抽风机抽出热风，图 5-111b是控制台式电柜顶部安装抽风机抽出热风，图 5-111c 是大型立式电柜顶部安装大功率抽风机，地沟、柜体下部都有进风口，图 5-111d 是大型立式电柜安装控制单元、制动电阻，顶部安装大功率抽风机，地沟、柜体下部都有进风口。

电柜风路设计原则是：电柜有强迫通风回路，安装在电柜上的风机要比变频器本身风机总通风量大 30% ~ 50%；柜内风路要有低风阻的通风口，在环境不清洁场合，进风口要安装过滤网；柜内空气不应直接通风，也不应发生热风回路，在柜内安装导风板和挡风板；没有专门设计强迫通风道的柜内，单台变频器安装要与周围电器、箱壁保持适当距离，一般留有 120 ~ 300mm 空间，左右前方空间留有 50mm。



a) 挂壁式电柜　b) 控制台式电柜　c) 大型立式电柜(1)　d) 大型立式电柜(2)

图 5-111　变频器柜内通风散热示意图

（5）变频器的防雷　在变频器内部一般设有雷电吸收网络，但实际工作时，特别是电源线架空引入时，雷电吸收网络不能满足要求。应在进线处

加设变频器专用避雷器（选件），或根据规范在距离变频器 20m 处电源点总装设电力避雷器，如电源电缆引入，应穿钢管防护，钢管需可靠接地。

二、变频器安装基本要求

1. 安装方式

（1）墙挂式安装　必须竖直安装且与相邻设备有足够的空间，与周围物体两侧均不小于 100mm，上下不小于 150mm。

（2）柜内安装　单台变频器尽量柜外冷却；单台变频器如柜内冷却时，应在规定安装抽风冷却风扇，并安装在变频器正上方。变频器安装在柜内中上部，正上方与正下方不能安装阻挡排风、进风的大体积器件，见图 5-112。当柜内安装多个变频器时，应并排安装，见图 5-113。如在使用时需要取掉变频器的键盘，则面板键盘孔应进行密封处理。

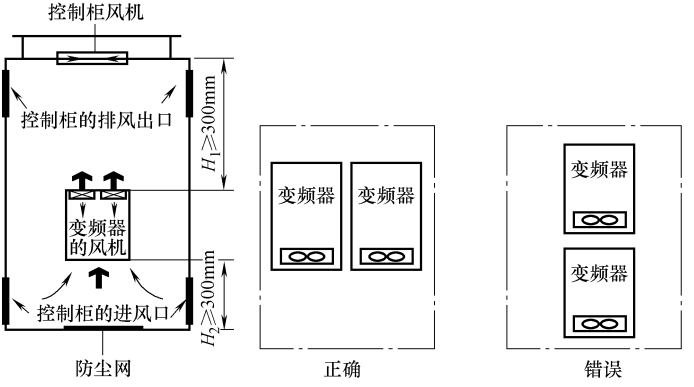


图 5-112　柜内安装变频器基本要求　图 5-113　柜内安装变频器的布置

2. 变频器的接线

变频器输入端 R、S、T，输出端 U、V、W，接线必须牢固，电源与变频器接线和同功率电动机截面积选择方式一致。R、S、T 和 U、V、W 的主电路导线采用铁管保护布线时，导线应彼此分开，如必须三根相线布置在同一根铁管内，正弦波三相电流瞬时值之和为零，不会引起发热。

变频器输出 U、V、W 线如敷在铁管和蛇皮金属管内，造成变频器内部功率开关器件的瞬时脉冲过电流，使功率管损坏。一般在布线超 30m（有管）或 50m（无管）时，U、V、W 端子处可接入交流电抗器。当 1 个变频器驱动多个电动机时，应按配线总长度，当接入输出侧交流电抗器后，馈线

电动机总长度不超过400m。

控制电缆用屏蔽线或双绞线，且这些线需要与电源电路和其他高电压电路有效隔离，变频器信号线离开动力线不少于100mm，绝对不能将信号线与输入输出强电导线捆绑一道，且尽量与动力线垂直布置。模拟信号线电缆必须用屏蔽线或双绞线，屏蔽线一端接变频器控制电路的公共端COM，不能接变频器的接地端E或大地，另一端悬空。开关量控制线允许非屏蔽线，同一信号的两根线必须绞合在一起。远距离控制操作时用继电器转换，减少外界干扰。变频器操作键盘与显示器共用操作盒，远距离操作时，电缆必须与动力线分开，必要时穿屏蔽套管。

3. 防尘措施

1）变频器柜风道设计合理，排风通畅，避免柜内形成涡流，在规定位置堆积灰尘。

2）变频器柜顶部出风口应安装防护盖，且高度合理，不影响排风。防护顶盖的侧面出风口还要安装防护网。保证变频器柜顶部的轴流风机旋转方向正确，向外排风。

3）变频器柜前后门和其他连接处要进行密封处理，所有进出线孔，安装防尘网。

4. 布线

（1）信号线

Ⅰ类信号线：热电阻信号、热电偶信号、应变信号、毫伏信号等低电平信号。此类很易被干扰。

Ⅱ类信号线：0～5V、1～5V、4～20mA、0～10mA 输入信号，4～20mA、0～10mA输出信号；电平型开关信号；触点型开关信号；脉冲量输入信号；24VDC 小于50mA 的阻性负载开关量输出信号。此类信号容易被干扰。

Ⅲ类信号线：DC 24～48V 感性负载或电流大于50mA 的阻性负载开关量输出信号。

Ⅳ类信号线：AC 110V 或 AC 220V 开关量输出信号。

Ⅲ类、Ⅳ类信号线的开关量动作瞬间是干扰源。

（2）传输线　有屏蔽线、屏蔽电缆和双绞线。

（3）控制电缆与布线

对Ⅰ类信号，必须用屏蔽电缆，Ⅰ类信号中的应变信号、毫伏信号应用屏蔽双绞合电缆，还要保证屏蔽层只有一点良好接地，降低电磁干扰和静电干扰。

对Ⅱ类信号，用屏蔽电缆，Ⅱ类信号中用于控制、联锁的输入/输出信号，开关量输入信号，必须用屏蔽电缆，最好为屏蔽双绞合电缆。禁止多芯电缆中部分用于传输Ⅰ或Ⅱ类信号，另外传输Ⅲ、Ⅳ类信号。

对Ⅳ类信号，严禁与Ⅰ或Ⅱ类信号线捆在一道走线，应作220V电源线处理，Ⅳ类信号电缆与电源电缆一道走线，必须用屏蔽双绞合电缆。绝对禁止大功率开关量输出信号线、动力线等电缆与直接进入变频器的Ⅰ、Ⅱ类信号线并行捆绑。

对Ⅲ类信号，允许与220V电源线一道走线，也可与Ⅰ或Ⅱ类信号线一道走线，但Ⅲ类信号必须用屏蔽电缆，且最好为屏蔽双绞合电缆，与Ⅰ或Ⅱ类信号线电缆距离15cm以上，严禁同一信号线几根芯线分布在不同的几条电缆中。

信号线和电源电缆应用不同走线槽，进机柜时相互远离。具体布线时，信号线和电源电缆不大于15cm时，必须在之间设置金属隔离板，且隔离板接地；信号线和电源电缆垂直方向或水平方向分离安装时，它们之间的距离要大于15cm，对干扰大的场合，如电源电缆接有AC 220V、10A以上的感性负载，且电源电缆不带屏蔽层，则要求信号电缆垂直方向间隔距离不小于60cm；两组电缆垂直相交时，如电源电缆不带屏蔽层，应用1.6mm以上的钢板覆盖在交叉部分。

用模拟量信号远距离控制变频器时，为减少模拟量来自变频器和其他设备的干扰，将控制变频器的信号线与强电回路分开走线，距离应大于30cm，柜内也要保持此距离。信号线不超过50m时，保护信号线的金属管或金属软管一直到变频器接线端子。模拟量信号线应用双绞合屏蔽线，规格为0.5～2.5mm^2，接线段剥线尽量短，剥线后将屏蔽层用绝缘胶布包好。

（4）动力电缆　根据变频器的功率确定导线截面积，从变频器到电动机要选用屏蔽电缆，尽可能短。当电缆长度超变频器允许长度时，电缆杂散电容可能干扰变频器工作，需要配备输出电抗器。变频器可选件与变频器之间的连接长度要不超过10m。

在现场，变频器与电动机的距离小于20m时，可直接与变频器连接；距离为20～100m时，需调整变频器的载波率减少谐波及干扰；距离超过100m时，需调整变频器的载波率，再加装输出交流电抗器。

电动机电缆应独立走线，最小距离500mm，避免电动机与其他电缆长距离平行走线。如控制电缆与电源电缆交叉，尽可能垂直交叉。

5. 布线的抗干扰设计

变频调速系统的传输导线之间形成相互耦合，产生通道干扰，表现在公

共阻抗耦合、电容性耦合、电感性耦合、电磁场耦合和辐射。

主要措施有布线中电场耦合抑制、磁场耦合抑制、公共阻抗耦合抑制。对公共阻抗耦合的抑制措施有：一种是减少公共地线的阻抗，控制公共阻抗耦合；另一种是适当接地避免容易干扰的电路公用地线，避免强电和弱电公用地线、数字电路和模拟电路公用地线。减少地线阻抗即减少地线电感，包括用扁平导线作为地线、用多条相距较远的并联导体作为地线。相互靠近的变频器柜低频信号单点接地见图5-114，变频器柜远离时低频信号单点接地见图5-115，变频器柜远离时低频信号多点接地见图5-116。

（1）抗干扰设计布线原则　为减少动力电缆的辐射电磁干扰，可用铜带铠装屏蔽电力电缆。信号电缆敷设时应按传输信号种类分层敷设，严禁同一电缆的不同导线同时传送不同类别的信号。信号线之间的相互干扰来自导线间的分布电容、电感引起的电磁耦合时，应选用金属铠装型的控制、信号电缆。变频器电源线、I/O线、输入输出信号线、交流线、直流线分用各自电缆，并分开布线，开关量信号线和模拟量信号线分开布线，且模拟量、数字信号线用屏蔽线，并将屏蔽层接地。当交流和直流输入输出信号线不得不使用同一配线管时，直流输入与输出信号线要用屏蔽电缆，并将屏蔽层接地。

（2）导线选择原则　对于低频信号线隔离要求很严格的多点接地和单点接地线路，要用屏蔽双绞线；单点接地的音频线路和内部电源线，用双绞线；重要发射射频脉冲、高频、宽频带内阻抗匹配等信号时使用同轴电缆；数字电路、脉冲电路用绞合屏蔽电缆，有时需要单独屏蔽；高电平电源线穿钢管敷设；多点接地的音频或电源线，用屏蔽线；低频仪表，用单芯屏蔽导线。

（3）布线的抗干扰设计　大地地势变化较大，系统将受到共模干扰，且易转变为差模干扰。一般用独立接地方式，接地截面积应不小于2.5 mm^2；接地点尽量靠近变频器机柜；接地线尽量避强电主电路，无法避则垂直交叉；接地电阻应不大于1Ω。

对电源线布线，变频器电源线和I/O线分别配线，电源线用屏蔽电力电缆，电源线和I/O线分开走线；交流线与直流线分用不同的电缆，分开捆扎交流线与直流线，分走行线槽。

对输入输出线，输入线不超过30m，如干扰不大、电压低，可适当长些；输入与输出线不能用同一根电缆，输入与输出线分开走线，开关量与模拟量尽量分开敷设；输入与输出回路配线，可用压接端子或单股线，不宜用多股绞线直接与变频器的接线端子连接。

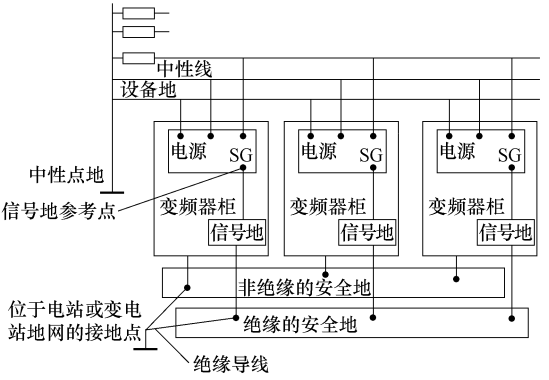


图 5-114　相互靠近变频器柜低频信号单点接地

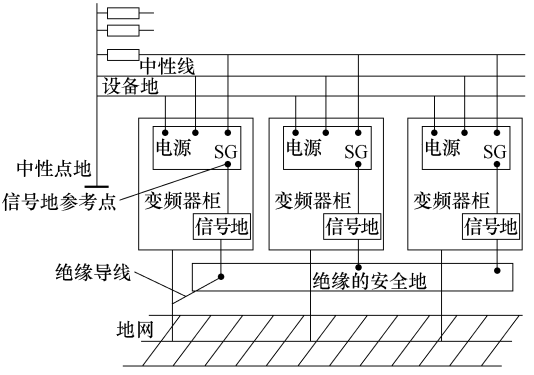


图 5-115　变频器柜远离时低频信号单点接地

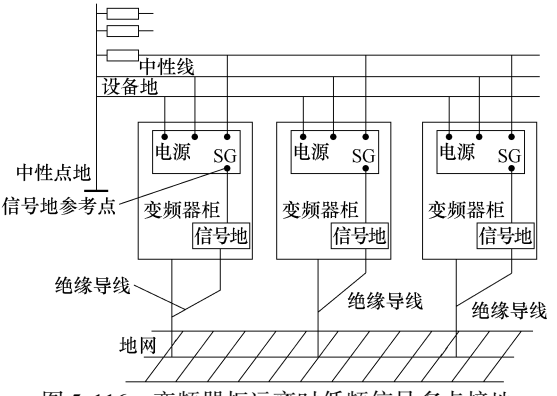
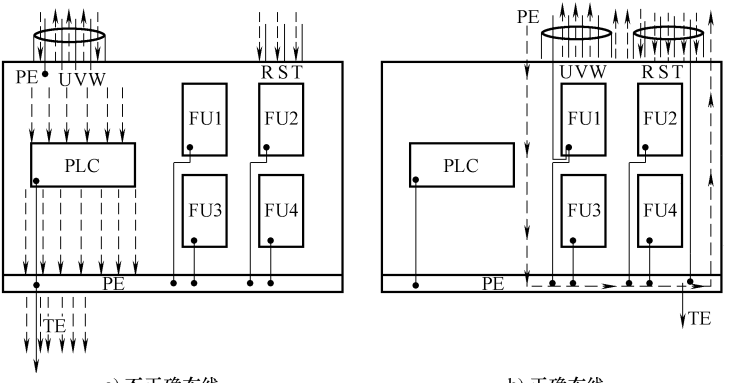


图 5-116　变频器柜远离时低频信号多点接地

对通信线，基本单元与控制站之间电缆传输信号小、频率高，易受干扰，必须单独敷。如通信信号频率很高，选择变频器厂家提供的专用电缆；在要求不高或信号频率较低时，可选用带屏蔽多芯电缆或双绞线电缆；为提高抗干扰能力，对变频器的外部信号、变频器与计算机之间串行信号，可用光纤传输和隔离，或用光电耦合的通信接口。

对变频器柜内布线，变频器机柜作内部控制系统参考电位，尽量减少流过用于安装变频系统的机柜背板中噪声电流，防止出现控制系统的 PE 短路与系统中远端其他相关变频调速系统参考电位之间的噪声电压，见图 5-117。



a) 不正确布线　　b) 正确布线

图 5-117　变频器的布线

三、变频器接地

变频器接地方式分为有供电电源中性点的工作地、安全地和防雷接地。工作地包括信号地、模拟地、数字地、电源地、功率地、屏蔽地、设备地和系统地。变频器信号接地有浮点地、单点地、多点地和混合地等。

1. 变频器接地设计准则

电路尺寸小于 0.05λ 时，可单点接地，电路尺寸大于 0.15λ 时，可用多点接地，对最大尺寸远小于 $\lambda/4$ 时，使用单点接地的绞合线；对工作频率很宽的系统，采用混合接地；出现接地环路时，用浮地隔离，如变压器、光电；所有接地线尽量短、接触良好；对信号线、信号回路、电源回路及底板或机壳，要单独的接地系统，然后再将这些接地回线接一个参考点；对出现

较大电流突变时，要有单独接地或单独回路；低电平电路接地线必须交叉、相互垂直；使用平衡差分电路，尽量减少接地电路的干扰；交直流线不能捆扎在一道。

2. 变频器系统接地

变频器系统接地有系统接地与屏蔽接地。系统接地具体有交流工作接地（N 线），接地电阻不大于4Ω；安全保护接地，接地电阻不大于4Ω；直流工作接地（逻辑接地），接地电阻按系统具体确定；防雷接地，按 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》设计；屏蔽接地，变频器调速系统中有许多屏蔽单元，如供电隔离变压器屏蔽层、局部空间或线路屏蔽罩，这些屏蔽的导体应接地良好；防静电接地，可经过限流电阻及自己的连接线与接地装置相连，限流电阻为 1MΩ。

变频器系统接地有变频器专用地、与其他设备公共地、与其他设备串联地，最好是变频器专用地，不可与其他设备串联地。接地线截面积不小于 2.5mm^2；接地点与变频器之间的距离不大于 50m；接地线尽量避开强电回路，不能避开时，应垂直相交，尽量减小平行距离。

3. 变频器系统通信线屏蔽接地

用上位机通过 RS—232/485 与变频器系统通信时，因接地点不集中，易产生电位差，在屏蔽线中形成回路，带来干扰，上位机侧一般没有专用接地，电源插座接地用接零方式，可能造成上位机或变频器的接口损坏。

变频器通信信号低于 100kHz 时，一般不用屏蔽电缆或双绞线。若接地不当，产生接地比不接地通信错误率更高。有屏蔽线建议如下：通信信号小于 100kHz 时一点接地；对 Profibus、Modbus 总线高速率通信电缆的屏蔽层，用多点或至少两点接地。

4. 传感器信号的屏蔽接地

各类传感器如脉冲变压器、旋转变压器、压力、温度、张力、速度等，信号线为屏蔽线，且与传感器外壳连接。当传感器安装在电动机、管道或生产线上时，屏蔽层与设备连接，而传感器与变频器或其他设备连接时，屏蔽层与 PE 线连接。如外设或变频器接地不良，就出现通过屏蔽层接地对系统造成影响。因此，外部传感器系统距离较远时，要保证外部设备和变频器可靠独立接地，或选择传感器外壳不与控制屏蔽层连接的传感器，在变频器系统侧实施一点接地；距离较近时，用公共接地母排接地。

5. 模拟信号的屏蔽层接地

双绞线或双绞屏蔽线对磁场的屏蔽效果优于单芯屏蔽线，对 0 ~ 5V、

1～5V、4～20mA 模拟系统，可采用双绞线或屏蔽线。通信频率为低频时，由于模拟量频带窄，双绞线或屏蔽线在变频器一侧接地，即应在线路对地分布电容大的一端接地。实际中，在信号电缆数量多的一侧接地。对抗干扰要求高的场合，采用双重静电屏蔽电缆，外屏蔽层接到屏蔽接地，内屏蔽层接到系统接地。

第六章　传感器及检测技术

第一节　传感器的分类、结构和性能

一、传感器的分类

传感器是指能感受规定的被检测量并按一定规律转换成可用信号的器件或装置，由敏感和转换元件或电路组成。

（1）按被检测量分　分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器。物理量传感器包括力学量、热学量、光学量、磁学量、电学量、声学量和射线传感器等；化学量传感器包括离子、气体和湿度传感器等；生物量传感器包括生化量和生理量传感器。

（2）按物理原理分　分为压电式、热电式、光电式、电阻式、电感式、电容式、应变式和霍尔式等。

（3）按能量传递方式分　分为有源传感器和无源传感器。前者将非电量转换为电量，信号转换时不需另外提供能量，直接由被测对象输入能量，将输入信号能量变换为另一种形式的能量输出使其工作，又称为能量转换型传感器；后者本身并不是换能器，被测非电量仅对传感器中能量起控制或调节作用，必须有电源，信号转换时，需要先供给能量，并由被测量控制外部供给能量的变化等，又称为能量控制型传感器。

（4）按工作机理分　分为结构型和物性型传感器。前者是物理学场的定律和运动定律等构成，依靠传感器机械结构几何形状或尺寸变化，将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等量的变化，实现信号变换，检测出被测信号；后者利用物质法则构成，信号变换过程中，结构参数基本不变，利用某些物质材料即敏感元件本身的物理或化学性质变化而实现信号变换。

（5）按传感器输出信号分　分为模拟传感器和数字传感器。前者将被测非电量转换成电压或电流；后者直接将非电量转换为数字量，分为脉冲、频率和数码输出三类。

（6）按转换过程是否可逆分　分为双向传感器和单向传感器。

（7）按照制造工艺分　分为集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器。

集成传感器用标准生产硅基半导体集成电路工艺技术制造，还将用于初步处理被测信号的电路集成在同一芯片；薄膜传感器通过沉积在介质基板上，相应敏感材料薄膜形成；厚膜传感器利用相应材料浆料，涂覆在陶瓷基片上制成，然后热处理，成形厚膜。

（8）按照是否接触分　分为接触式和非接触式。前者将传感器与被测对象视为一体，传感器无须在使用现场标定，但传感器与被测对象接触会对被测对象的状态或特性不可避免地产生影响；后者测量可消除传感器介入而使被测量受到的影响，准确性高，使用寿命长，但输出受到被测对象与传感器之间介质或环境的影响。传感器必须使用现场标定。

（9）按照传感器构成分　分为基本型传感器、组合型传感器和应用型传感器。基本型传感器是最基本的单个变换装置；组合型传感器由单个变换装置组合；应用型传感器是基本型或组合型传感器与其他机构组合而构成。

（10）按作用形式分　分为主动型和被动型传感器。前者又有作用型和反作用型，对被测对象能发出一定探测信号，检测探测信号在被测对象中所产生的变化，或由探测信号在被测对象中产生某种效应而形成信号，检测探测信号变化方式的称为作用型，检测产生响应而形成信号方式的称为反作用型；后者只是接收被测对象本身产生的信号。

二、传感器的结构

由敏感元件、转换元件、信号调节转换电路和电源组成，见图 6-1。

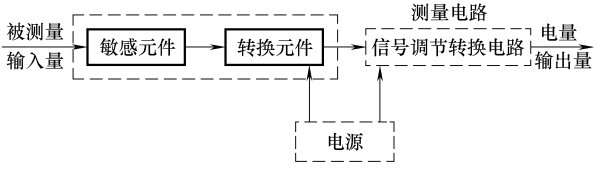


图 6-1　传感器结构框图

（1）敏感元件　能直接感知被测量，按一定规律转换成与被测量有确定关系其他量的元器件。

（2）转换元件　将敏感元件输出量直接转换成电量输出的元器件，不直接感知被测量。

（3）信号调节转换电路　即转换电路，也称为二次仪表，将转换元器件输出电信号放大，转换为便于显示、记录、处理和控制的电信号电路。常用电桥电路、放大器电路、变阻器电路、A-D 与 D-A 转换电路、调制电路

和振荡器电路等。

（4）电源　有些传感器需外供电源，有的传感器不需要。

三、传感器的性能

传感器所测量的非电量，一种是稳定，不随时间变化或变化极其缓慢的静态信号；另一种随时间变化而变化的动态信号。由于输入量状态不同，传感器输入-输出特性不同，所以存在静态和动态特性。

1. 静态特性

（1）线性度　又称为非线性误差，传感器实际特性曲线与拟合直线之间的最大相对偏差与传感器信号输出范围之比，用 γ 表示。线性度见图 6-2。

$$\gamma = \frac{\Delta L_{\max}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} \times 100\% \qquad (6\text{-}1)$$

式中　$\Delta L_{\max}$——最大相对偏差；

$\gamma_{\max} - \gamma_{\min}$——传感器信号输出范围。

$\Delta L_{\max}$ 值越小越接近拟合直线，线性度越好。

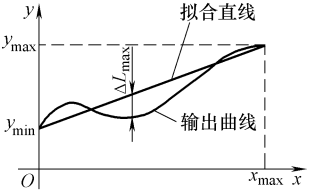
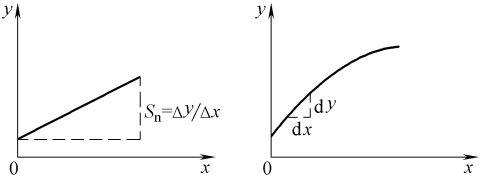


图 6-2　线性度



a) 线性传感器　　b) 非线性传感器

图 6-3　灵敏度

（2）灵敏度　指传感器稳态下输出变化值与输入变化值之比，用 S_n 表示为

$$S_n = \Delta y / \Delta x \qquad (6\text{-}2)$$

式中　Δy——输出信号变化量；

Δx——输入信号变化量

线性传感器灵敏度就是拟合直线的斜率，$S_n = \Delta y / \Delta x$；非线性传感器的灵敏度是一个变量，$S_n = \mathrm{d}y/\mathrm{d}x$，见图 6-3。

（3）分辨力　传感器可能感受到被测量的最小变化的能力，用该值相对满量程输入值之百分数表示。

（4）迟滞性　传感器在正、反（输入量减小）行程过程中输入输出曲线不重合的现象，见图 6-4，表达式为

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2}\frac{\Delta H_{max}}{y_{FS}} \times 100\% \tag{6-3}$$

式中　ΔH_{max} ——正反行程间输出的最大差值；

y_{FS}——满量程输出。

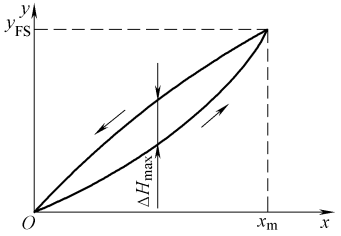


图 6-4　迟滞性

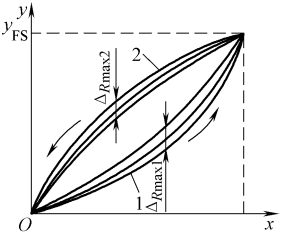


图 6-5　重复性

（5）重复性　在同一工作条件下，输入量按同一方向作全量程连续多次测试时，所得持性曲线不一致性的程度，见图 6-5，表达式为

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta_{Rmax}}{y_{FS}} \times 100\% \tag{6-4}$$

式中　Δ_{Rmax} ——正行程最大重复性偏差，即 Δ_{Rmax1} 与反行程最大重复性偏差 Δ_{Rmax2} 的较大值。

（6）稳定性　包括稳定度和环境影响量。前者指在任何条件均保持恒定不变时，输出信号的稳定时间，值越大稳定度越高；后者指外界环境变化如环境温度、湿度变化引起输出信号的变化。组成传感器元器件品质特性不良或材质选择不当会引起信号变化。

（7）漂移　外界干扰下，在一定时间间隔内输出量发生与被测输入量无关、不需要的变化包括零点漂移和灵敏度漂移，又分为时间漂移和温度漂移，时间漂移指在规定条件下，零点或灵敏度随时间的缓慢变化；温度漂移为环境温度变化而引起的零点或灵敏度的漂移。

（8）可靠性

① 平均无故障时间。有限次正常运行时间的算术平均值，该值越大可靠性越高。

② 平均故障修复时间。有限次故障排除时间的算术平均值，该值越大可靠性越差。

③ 故障率。一定时间内故障出现的总和，该值越大可靠性越差。

（9）精度　传感器在满量程内任一点输出值相对其理论值的可能偏离程度。

2. 动态特性

随时间变化的信号时，系统输出与输入之间的关系，主要有时域单位阶跃响应性能指标和频域频率特性性能指标。

3. 传感器基本要求

① 足够的容量。工作范围或量程足够大，有一定过载能力。

② 与测量或控制系统匹配性好，灵敏度高；输出与被测输入信号关系确定，通常为线性且比值大。

③ 精度适当、稳定性高。静态与动态响应准确度能满足要求，长期稳定。

④ 反应速度快，工作可靠性好。

⑤ 适用性和适应性强。动作能量小，对被测对象状态影响小，内部噪声小，不易受外界干扰，使用安全。

⑥ 使用经济。成本低，寿命长，易使用、维修和校准。

第二节　检测技术与检测系统

一、检测技术

检测是借助专门的技术工具通过实验、计算而获得被测量的大小和方向，即是对被测对象的信息采集过程；检测技术是对被测对象所包含的信息定性和定量地掌握并采取的一系列技术措施。

二、检测系统

自动检测系统或者自动检测装置是实现信息提取、信息转换以及信息处理的系统或装置。各组成部分以信息流过程划分，由信号采集、信号处理和结果表达组成，见图 6-6。

图 6-6　检测系统组成框图

1）信号采集——将输入变量转换成可供测量的电信号。

2）信号处理——传感信号混杂干扰信号和噪声，为提取有用信号，将信号整形、放大、滤波、线性化，或转换成数字信号等处理，由中间变换装

置来完成。

3）信号结果表达——将测量结果显示并记录，或提供反馈控制信号。

1. 精度等级

精度是指特定条件下测量仪表的精确度，又称为准确度，表示由测量仪表得出的测量值与真实值的接近程度，用相对百分误差表示；在工业测量中，用精度等级表示仪表的准确程度。准确度等级是最大引用误差去掉正、负号及百分号。我国工业仪表精度等级分 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 等，并标志在仪表刻度标尺或铭牌上。

2. 数据处理

（1）测量　借助仪器将待测量与同类标准量比较，确定待测量是该同类单位量多少倍的过程。测量数据有大小和计量单位。

（2）误差　测量结果与真值的差异称为误差，有绝对误差、相对误差和引用误差。绝对误差为测量值与真值的差值，即

$$\Delta = x - L \tag{6-5}$$

式中　x——测量值；

L——真值。

真值指在一定时间和空间条件下，能准确反映某一被测量真实状态和属性的量值，即某一被测量客观实际具有的量值。真值分为约定真值和理论真值。前者指为达到某种目的，按照约定办法确定的量值；后者是在理想情况下表征某一被测量真实状态和属性的量值，是客观或根据一定理论所定义的；标准仪器的测得值或作测量标准用标准器的值为相对真值。

（3）相对误差　测量的绝对误差与被测量的真值之比称为相对误差，用百分数表示为

$$\delta = \frac{\Delta}{L} \times 100\% \tag{6-6}$$

式中　Δ——绝对误差；

L——真值。

（4）引用误差　绝对误差与测量装置量程的比值称为引用误差，用百分数表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{B} \times 100\% \tag{6-7}$$

式中　Δ——绝对误差；

B——测量装置量程，测量装置测量范围上限 x_{max} 与下限 x_{min} 之差。

3. 数据处理方法

（1）测量误差分类

1）系统误差。相同条件下多次测量同一量值时，误差值保持恒定；或当条件改变时，按某一规律变化的误差称为系统误差。分为定值和变值系统误差。

2）随机误差。相同条件下，以不可预知方式变化的测量误差称为随机误差。在一定测量条件下对同一值大量重复测量时，总体随机误差的产生满足统计规律，具有有界性、对称性、抵偿性和单峰性。因此，可分析和估算误差值变动范围，取平均值减小对测量结果的影响。

3）粗大误差。某种反常原因造成、歪曲测得值的测量误差称为粗大误差。它具有突然性，由某些偶尔发生的反常因素造成，应当尽量避免，在一系列测得值中按一定判别准则剔除。

（2）数据处理方法

1）算术平均值法：多次重复测量时，取全部测量数据算术平均值为测量结果，即

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{d-1}^{n} x_{\mathrm{d}} \tag{6-8}$$

式中 $x_1, x_2, \cdots, x_n$——测量数据。

2）异常数据剔除：当测量结果超过正常范围时，给予剔除。测量数据与算术平均值的偏差大于标准差的3倍为异常数据。针对粗大误差的数据处理方法。

$$|\Delta| = |x_i - \bar{x}| > 3\sigma \tag{6-9}$$

式中 x_i——异常数据；

$\bar{x}$——算术平均值；

σ——测量列的标准差，

$$\sigma = \lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n}(x_i - L)^2}\text{。}$$

第三节 典型传感器及其选用

一、应变片电阻传感器

利用电阻应变效应制成的传感器叫作应变片电阻传感器。其工作原理是吸附在基体材料上的应变电阻随机械形变而产生阻值变化的现象，俗称电阻应变效应。根据敏感材料不同分为金属和半导体两大类。相应表达式为

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \tag{6-10}$$

式中　K——灵敏度系数；

ε——轴向线应变。

1. 特性

（1）静态　包括灵敏系数、横向效应、机械滞后、蠕变、零漂和应变极限等。

（2）动态　包括对正弦应变波的响应、对阶跃应变波的响应及疲劳寿命等。

2. 选用

（1）MCC—X4 系列悬臂梁式称重传感器　采用优化平行梁式结构，高精度箔式应变计组成电桥，四角偏载误差小，用于电子平台秤中。其技术指标见表 6-1，外形见图 6-7，结构尺寸见图 6-8。

图 6-7　传感器的外形（1）

表 6-1　MCC—X4 系列悬臂梁式称重传感器技术指标

量程/kg	10，20，30，50，100，200，300，500
直流激励电压/V	10，12，15，24
输出信号	0～5V、1～5V、0～10V、0～10mA、0～20mA、4～20mA
非 线 性/(%FS)	0.03～0.1
滞后/(%FS)	0.03～0.1
不重复性/(%FS)	0.03～0.1
温漂/(%FS/℃)	0.003
零位输出/(%FS)	≤2
工作温度/℃	-20～80
过载能力/(%FS)	150

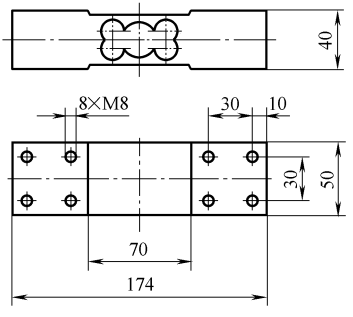


图 6-8　传感器的结构尺寸

图 6-9　传感器的外形（2）

（2）MCC-Z 系列柱式称重传感器　紧凑柱式结构，高精度、宽量程、性能稳定；具有很强的抗偏载、抗扭、抗侧能力，适用于工业称重，广泛安装在工业用平台、料斗、料仓、料罐及起重机上。其外形见图 6-9，技术指标见表 6-2，结构尺寸见图 6-10，外形尺寸见表 6-3。

表 6-2　MCC-Z 系列柱式称重传感器技术指标

量　　程	100kg、200kg、300kg、500 kg、1t、2t、3t、5t、10t、20t、30t、50t
直流激励电压	10 或 12,15,24
输出信号	0～5V、1～5V、0～10V、0～10mA、0～20mA、4～20mA
非线性/(%FS)	0.05～0.1
滞后/(%FS)	
不重复性/(%FS)	
温漂/(%FS/℃)	0.003
零位输出/(%FS)	≤2
工作温度/℃	－20～80
过载能力/(%FS)	150

表 6-3　MCC-Z 系列柱式称重传感器的外形尺寸

（单位：mm）

量程/t	*H*	*C*	*A*	*B*
0.1～0.5	105	ϕ25	ϕ61	M16 或 M16×1.5
1			ϕ65	
2～3	130	ϕ35	ϕ76	M24
5	148	ϕ35	ϕ81	
10	160	ϕ45	ϕ83	M30
20	175	ϕ50	ϕ108	M36
30	215	ϕ65	ϕ133	M45

（3）CFBHL 轮辐荷重传感器　轮辐式弹性体结构，利用剪切式应力原理，具有低外形、抗偏载、精度高、强度高等特点，用于多种载荷力的测试，广泛用于电子秤、水泥配料仓、干粉搅拌机及自动化测控系统。其技术指标见表 6-4，外形见图 6-11，结构尺寸见图 6-12，外形尺寸见表 6-5。

表 6-4　CFBHL 轮辐荷重传感器技术指标

参数	单位	技术指标	参数	单位	技术指标
灵敏度	mV/V	2.0±0.05	灵敏度温度系数	%FS/10℃	±0.03
非线性	%FS	±0.03	工作温度范围	℃	－20＋80
滞后			输入电阻	Ω	750±20
重复性			输出电阻		700±5
蠕变	%FS/30min		安全过载	%FS	150
零点输出	%FS	±1	绝缘电阻	MΩ	≥5000(DC 50V)
零点温度系数	%FS/10℃	±0.03	推荐激励电压	V	10～15

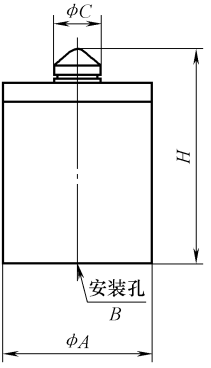


图 6-10　传感器的结构尺寸（1）

图 6-11　传感器的外形（3）

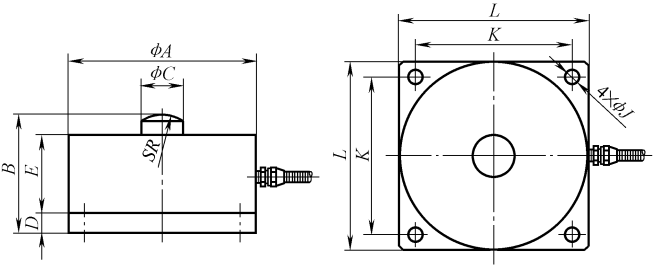


图 6-12　传感器的结构尺寸（2）

表 6-5　CFBHL 轮辐荷重传感器的外形尺寸

量程	ϕA	B	ϕC	D	E	K	L	SR	$4\times\phi J$
0.2～0.7t	72	41	16	8	25	62	72	8	4.6
1～8t	88	53	20	10	34	75	88	12	5.6
10～15t	114	70	25	13	46	95	114	25	6.5
20～30t	145	91	32	16	60	120	145	30	11

（4）CFBHD 定滑轮式荷重传感器　采用双剪切梁式结构，综合精度高、安装简单方便、长期稳定性好、兼容性好，广泛用于起重、水利、煤矿等测控系统。其外形见图 6-13，结构尺寸图 6-14，技术指标见表 6-6，外形尺寸见表 6-7。

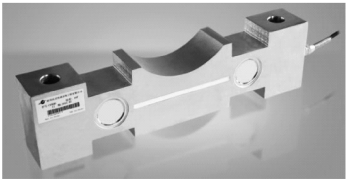


图 6-13　传感器的外形（4）

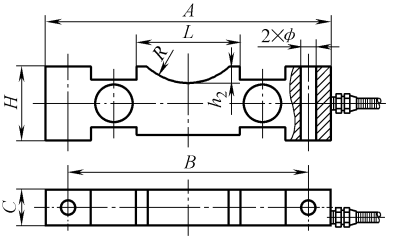


图 6-14　传感器的结构尺寸（3）

表 6-6　CFBHD 定滑轮式荷重传感器技术指标

参数	单位	技术指标	参数	单位	技术指标
灵敏度	mV/V	1.5 ± 0.05	灵敏度温度系数	% FS/10℃	± 0.05
非线性	% FS	± 0.05	工作温度范围	℃	−20 ~ +80
滞后			输入电阻	Ω	750 ± 20
重复性		± 0.03	输出电阻	Ω	700 ± 5
蠕变	% FS/30min	± 0.05	安全过载	% FS	150
零点输出	% FS	± 1	绝缘电阻	MΩ	≥5000
零点温度系数	% FS/10℃	± 0.05	推荐激励电压	V	10 ~ 15

表 6-7　CFBHD 定滑轮式荷重传热器的外形尺寸

（单位：mm）

额定载荷/t	A	C	H	B	L	R	h_2	$2\times\phi$
2	250	32	65	210	90	50	15	13
3		38						
5	300	40	80	250	110	60	18	17
10							20	
15	350	60	106	295	146	80	23	22
20								
30	410	68	114	340	170	90	26	26
50	460		116	360				32

（5）MCL—S2 系列 S 式拉力传感器　用于标准称量，如平台秤、料斗称量系统等高精度工业称量系统，可恶劣环境下长时连续工作。其外形见图 6-15，结构尺寸见图 6-16，技术指标见表 6-8，外形尺寸见表 6-9。

图 6-15　传感器的外形（5）

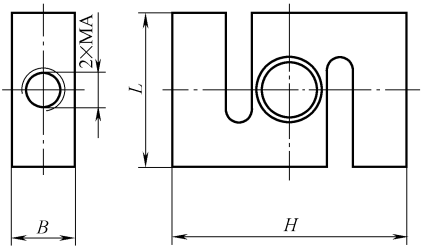


图 6-16　传感器的结构尺寸（4）

表 6-8　MCL-SZ 系列 S 式拉力传感器技术指标

量程/kN	1.5、2、3、5、10、20、30、50、100
直流激励电压/N	10、12、15、24
输出信号	0～5V、1～5V、0～10V、0～10mA、0～20mA、4～20mA
非 线 性/(%FS)	0.03～0.1
滞后/(%FS)	
不重复性/(%FS)	
温漂/(%FS/℃)	0.003%
零位输出/(%FS)	≤2
工作温度/℃	-20～80
过载能力/(%FS)	150

表 6-9　MCL-SZ 系列 S 式拉力传感器的外形尺寸

（单位：mm）

量程/kN	*A*	*B*	*L*	*H*
1.5～7	M16/M16×1.5	24	55	80
10～15		25	60	92
20～30	M24	32	70	108
50～60	M24	36	84	130
100	M30	40	100	152

（6）MCL-Z 系列柱式拉力传感器　结构兼顾柱式、S 式的优点，紧凑、造形优美，测量精度高，抗偏能力强，用于配料、机械制造、拉力试验机等计量控制系统。其外形见图 6-17，结构尺寸见图 6-18，技术指标见表 6-10，外形尺寸见表 6-11。

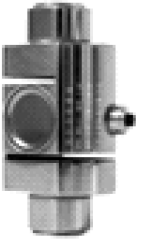


图 6-17　传感器的外形（6）

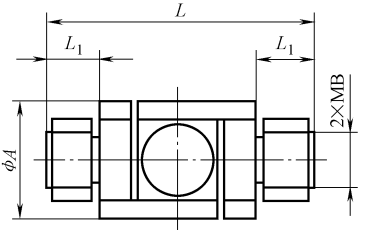


图 6-18　传感器的结构尺寸（5）

表 6-10　MCL-Z 系列柱式拉力传感器技术指标

量程/kN	1、2、3、5、10、20、30、50、100、200、500
激励电压/ V	10、12、15、24
输出信号/(%FS)	0～5V、1～5V、0～10V、0～10mA、0～20mA、4～20mA
非线性/(%FS)	0.03～0.1
滞后/(%FS)	
不重复性/(%FS)	
温漂/(%FS/℃)	0.003
零位输出/(%FS)	≤2
工作温度/℃	－20～80
过载能力/(%FS)	150

表 6-11　MCL-Z 系列柱式拉力传感器的外形尺寸（单位：mm）

量程/kN	L	L_1	A	B
1～5	93	17	ϕ48	M16、M16×1.5
10	93	17	ϕ52	
20～30	112	22	ϕ63	M24
50	130	24	ϕ68	M24
100	138	30	ϕ70	M30
200	150	36	ϕ95	M36
300	184	45	ϕ120	M45
500～800	280	60	ϕ165	M60

（7）CFBLT 筒式拉压力传感器　采用筒式、柱式结构形式。内外螺纹作承载连接，抗偏载、抗侧能力、精度高、性能稳定强，用于拉伸力和压缩力的测量，适用于料斗秤、皮带秤和电子测力系统。其外形见图 6-19，结构尺寸见图 6-20，技术指标见表 6-12，外形尺寸见表 6-13。

图 6-19　传感器的外形（7）

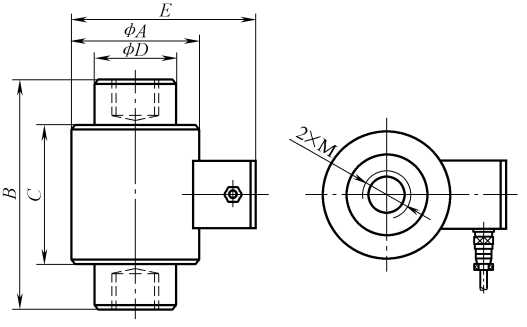


图 6-20　传感器的结构尺寸（6）

表 6-12　CFBLT 筒式拉压力传感器技术指标

参数	单位	技术指标	参数	单位	技术指标
灵敏度	mV/V	1.0－1.5 ±0.05	灵敏度温度系数	%FS/10℃	±0.1
非线性	%FS	±0.3	工作温度范围	℃	－20～＋80
滞后		±0.3	输入电阻	Ω	750±20
重复性		±0.15	输出电阻	Ω	700±5
蠕变	%FS/30min	±0.3	安全过载	%FS	150
零点输出	%FS	±1	绝缘电阻	MΩ	≥5 000 （DC 50V）
零点温度系数	%FS/10℃	±0.1	推荐激励电压	V	10～15

表 6-13　CFBLT 筒式拉压力传感器的外形尺寸　（单位：mm）

量程/t	ϕA	ϕD	B	C	$2\times M$	E
10～30	110	70	200	120	M40×3	140
50～100	155	115	324	200	M72×4	190
150～200	200	166	420	240	M110×6	240
250～300	238	190	500	280	M130×6	280

（8）CFBLY 轮辐拉压力传感器　采用轮辐式弹性体拉式结构，低外形、抗偏载、精度高、强度好、安装方便、拉压输出对称性好，用于工业系统中力测量和天车秤、轨道衡、料斗秤等各种称重、测力自动化测控系统。其外形见图 6-21，结构尺寸见图 6-22，技术指标见表 6-14，外形尺寸见表 6-15 和表 6-16。

图 6-21　传感器的外形（8）

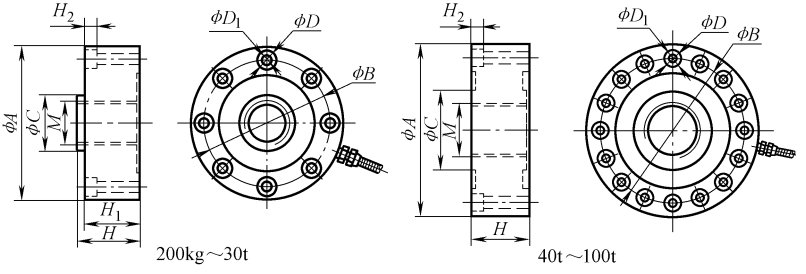


图 6-22　传感器的结构尺寸（7）

表 6-14　CFBLY 轮辐拉压力传感器技术指标

参数	单位	技术指标	参数	单位	技术指标
灵敏度	mV/V	2.0±0.05	灵敏度温度系数	%FS/10℃	±0.03

（续）

参数	单位	技术指标	参数	单位	技术指标
非线性	% FS	±0.03	工作温度范围	℃	-20 ~ +80
滞后	% FS	±0.03	输入电阻	Ω	750 ±20
重复性	% FS	±0.03	输出电阻	Ω	700 ±5
蠕变	% FS/30min	±0.03	安全过载	% FS	150
零点输出	% FS	±1	绝缘电阻	MΩ	≥5000（DC 50V）
零点温度系数	% FS/10℃	±0.03	推荐激励电压	V	10 ~ 15

表 6-15　CFBLY 轮辐拉压力传感器的外形尺寸（1）

（单位：mm）

量程	ϕA	ϕB	ϕC	M	H	H_1	H_2	ϕD	ϕC
200 ~ 700kg	88	72	22	M12 × 1.75	34	31	7.2	8 × ϕ11	8 × ϕ7
1 ~ 5t	105	89	32	M16 × 1.5	37	34	7.2	8 × ϕ11	8 × ϕ7
10 ~ 20t	120.6	101.8	39	M32 × 1.5	53.5	41	10.5	8 × ϕ14	8 × ϕ9
30t	141	116.8	50.4	M40 × 1.5	57.2	50.8	11	8 × ϕ18	8 × ϕ11

表 6-16　CFBLY 轮辐拉压力传感器的外形尺寸（2）

（单位：mm）

量程	ϕA	ϕB	ϕC	M	H	H_2	ϕD	ϕD_1
40 ~ 60t	208	174	95	M64 × 3	70	15	16 × ϕ20	16 × ϕ13
80 ~ 100t	280	230	120	M76 × 3	90	20	16 × ϕ30	16 × ϕ17

二、电感式传感器

将被测量变化转换成电感量变化的传感器。利用电磁感应将位移、压力、流量、振动等转换成线圈自感系数和互感系数的变化，再由测量电路转为电压或电流输出。其分为自感式和互感式两种，前者有变气隙式、变面积式与螺管式。

1. 特性

工作可靠、寿命长；灵敏度高，分辨力高；精度高、线性好；性能稳定、重复性好；结构简单；存在交流零位信号，不适宜用于高频动态测量。

2. 选用

（1）电感式模拟量 M12 位移传感器　其典型外形尺寸见图 6-23，外形见图 6-24，结构尺寸见图 6-25，技术指标见表 6-17。

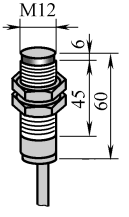


图 6-23　传感器典型外形尺寸

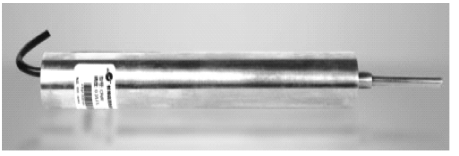


图 6-24　传感器的外形（9）

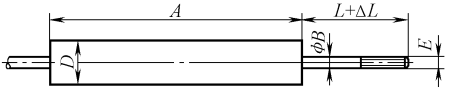


图 6-25　传感器的结构尺寸（8）

表 6-17　电感式摸拟量位移传感器技术指标

检测距离/mm		0.2～2(埋入式)、0.4～4(非埋入式)
具备型号		HG-ML12-M、HG-ML12、
		HG-ML12-M、HG-ML12
标准检测体/mm		铁 18×18×1
直流工作电压/V		15～30
空载电流/mA		≤12
重复精度		≤2%
响应频率/Hz		200
电压型	电压输出/V	0～5 或 0～10
	负载电阻/kΩ	≥4.7
电流型	电流输出/mA	0～20
	负载电阻/Ω	≤500
温度范围/℃		-25～80
温度误差(%)		±5
线性误差(%)		±3
防护等级		IP67
连接方法		2mPVC 电缆
外壳材料		耐热 ABS/黄铜镀铬
感应面材料		耐热 ABS

（2）CFWY 位移传感器　差动电感结构。由稳幅激励信号源、检测电路和滤波放大组成，稳幅信号源由集成运放构成，输出高稳定的正弦波，稳定度高、波形失真小、温度漂移小、负载能力强、能长期运行。其分为回弹式和直拉式两种。以电流或电压标准输出形式准确反映位移的变化。其技术指

标见表 6-18。

表 6-18　CFWY 位移传感器技术指标

规格	量程/mm	A/mm	L/mm		ΔL/mm	D/mm	E/mm
			最小	最大			
5L、2.5D	5，±2.5	130	30	54	15	ϕ26	M5
10L、5D	10，±5	130		80			
20L、10D	20，±10	160		95			
30L、15D	30，±15	180		111			
50L、25D	50，±25	230		155			
100L、50D	100，±50	280		205			
150L、75D	150，±75	380		265			
200L、100D	200，±100	400		321			
300L、150D	300，±150	540		485			
400L、200D	400，±200	670		644			
500L、250D	500，±250	830	50	749			
600L、300D	600，±300	950		749			
700L、350D	700，±350	960		791	20		M8
800L、400D	800，±400	1093		845			
900L、450D	900，±450	1242		1004			
1000L、500D	1000，±500	1336		1088			
综合精度/(%FS)	0.05、0.1、0.5、1						
输出信号	4～20mA、0～5V 或 0～±5V、0～±10V						
直流电源电压/V	12、24						
工作温度/℃	－10～60						
零点温漂/(%/℃)	0.01						
灵敏度漂移/(%/℃)	0.05						
动态频率/Hz	0～200						

（3）F26 电感式接近开关　传感器的外形见图 6-26，接线见图 6-27，外部接线端子见图 6-28，型号见表 6-19，技术指标见表 6-20。

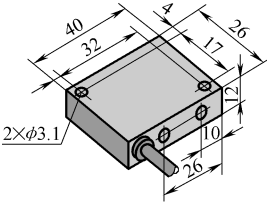


图 6-26　传感器的外形（10）

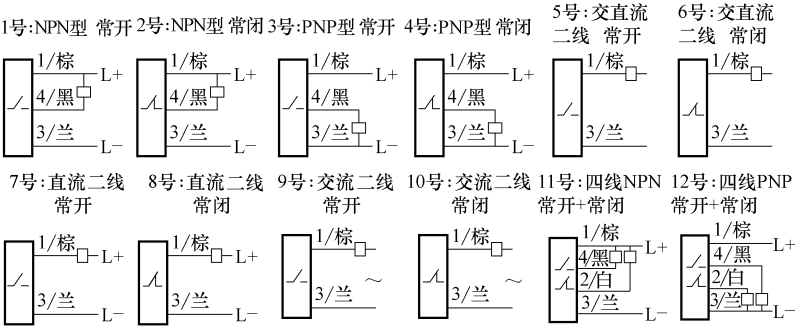
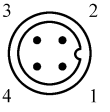


图 6-27　传感器接线

接插件:



bn	bu	bk	wh	gr
棕	兰	黑	白	灰
+	−	NO	中点	NC

图 6-28　外部接线端子

表 6-19　F26 电感式接近开关型号

检测距离/mm				埋入式 2、非埋入式 4
型号	DC	NPN	NO	HG－B26-MZNK
			NC	HG－B26-MZNB
			NO＋NC	HG－B26-MZNKB
		PNP	NO	HG－B26-MZPK
			NC	HG－B26-MZPB
			NO＋NC	HG－B26-MZPKB
		二线制	NO	HG－B26-MZK
			NC	HG－B26-MZB
			NO＋NC	
		NPN＋PNP	NO	HG－B26-MZNPK
			NC	HG－B26-MZNPB
	AC	NO		HG－B26-MJK
		NC		HG－B26-MJB
		NO＋NC		
	继电器输出			

表 6-20　F26 电感式接近开关技术指标

主要参数	工作电压/V		DC:10～30 ,AC:20～250
	响应频率/Hz	DC 三四线/DC 二线	800/400
		AC 型	
	工作电流/mA	直流三四线	200
		直流二线	200
		交流二线	
		五线制	
	漏电流/mA	直流三四线	<0.05
		直流二线	<0.4
		交流二线	<1.6
	电压降/V	直流三四线	<1.5
		直流二线	<4
		交流二线	<6.5
	重复精度/mm		≤0.01
	工作环境温度/℃		-20～+80
	动作指示		LED
	回路保护/极性保护		具备
	连接方式		1.5mPUR 电缆/带插
	外壳材料		黄铜镀铬
	防护等级		IP67

（4）M18 电感式接近开关　其外形见图 6-29，主要技术指标见表 6-21。

图 6-29　传感器的外形（11）

表 6-21　M18 电感式接近开关技术指标

系列		LJA18M			
约定距离 Sn		屏蔽式 5mm		非屏蔽式 10mm	
具体型号	直流二线式	NO	LJA18M-5D1	NO	LJA18M-10D1
		NC	LJA18M-5D2	NC	LJA18M-10D2

（续）

<table>
<tr><td colspan="3">系列</td><td colspan="4">LJA18M</td></tr>
<tr><td colspan="3">约定距离 Sn</td><td colspan="2">屏蔽式 5mm</td><td colspan="2">非屏蔽式 10mm</td></tr>
<tr><td rowspan="9">具体型号</td><td rowspan="6">直流三线式</td><td rowspan="3">NPN</td><td>NO</td><td>LJA18M-5N1</td><td>NO</td><td>LJA18M-10N1</td></tr>
<tr><td>NC</td><td>LJA18M-5N2</td><td>NC</td><td>LJA18M-10N2</td></tr>
<tr><td>NO + NC</td><td>LJA18M-5N4</td><td>NO + NC</td><td>LJA18M-10N4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">PNP</td><td>NO</td><td>LJA18M-5P1</td><td>NO</td><td>LJA18M-10P1</td></tr>
<tr><td>NC</td><td>LJA18M-5P2</td><td>NC</td><td>LJA18M-10P2</td></tr>
<tr><td>NO + NC</td><td>LJA18M-5P4</td><td>NO + NC</td><td>LJA18M-10P4</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">交流二线式</td><td>NO</td><td>LJA18M-5A1</td><td>NO</td><td>LJA18M-10A1</td></tr>
<tr><td>NC</td><td>LJA18M-5A2</td><td>NC</td><td>LJA18M-10A2</td></tr>
<tr><td colspan="3">检测距离/mm</td><td colspan="2">0 ~ 5 ± 10%</td><td colspan="2">0 ~ 10 ± 10%</td></tr>
<tr><td colspan="3">检测体/mm</td><td colspan="2">铁 18 × 18 × 1</td><td colspan="2">铁 30 × 30 × 1</td></tr>
<tr><td colspan="3">最高响应频率/kHz</td><td colspan="2">D 型:0.5,N、P 型:0.6,A 型:25</td><td colspan="2">D 型:0.4,N、P 型:0.2, A 型:25</td></tr>
<tr><td colspan="3">检测物体</td><td colspan="4">导磁性金属(非磁性金属时检测距离减小)</td></tr>
<tr><td colspan="3">电源电压/V</td><td colspan="4">DC 二线:6 ~ 36,DC 三线:6 ~ 36　　AC 二线:90 ~ 250</td></tr>
<tr><td colspan="3">消耗电流/mA</td><td colspan="4">N、P 型: <13,D 型: <0.8,A 型: <1.7</td></tr>
<tr><td colspan="3">控制输出/mA</td><td colspan="4">N、P 型: <300,D 型: <200,A 型: <400</td></tr>
<tr><td colspan="3">回路保护</td><td colspan="4">N、P、D 型:逆连接保护、浪涌吸收、负载短路保护,A 型:浪涌吸收</td></tr>
<tr><td colspan="3">环境温、湿度</td><td colspan="4">动作时、保存时:各 -30 ~ +65℃(不结冰、不结霜),动作时、保存时:各 35 ~ 95% RH</td></tr>
<tr><td colspan="3">绝缘阻抗/MΩ</td><td colspan="4">>50(DC500 绝缘电阻表)充电部分与外壳间</td></tr>
<tr><td colspan="3">耐电压</td><td colspan="4">AC1000V 50/60Hz　1min 充电部分与外壳间</td></tr>
<tr><td colspan="3">温度的影响</td><td colspan="4">温度范围 -30 ~ +65℃,变化 ±10℃时, ±5% 检测距离以内</td></tr>
<tr><td colspan="3">电压的影响</td><td colspan="4">额定电源电压范围 ±15% 、额定电源电压值、±10% 检测距离以内</td></tr>
<tr><td colspan="3">保护结构</td><td colspan="4">IP67</td></tr>
<tr><td colspan="3">材质</td><td colspan="2">外壳:黄铜镀镍</td><td colspan="2">检测面:ABS</td></tr>
</table>

三、电容式传感器

以电容器作为敏感元件，将被测非电量变化转化为电容量变化。以平行板电容器为例，其由绝缘介质分开的两个平行金属板组成，电容量与真空介电常数 ε_0 、极板间介质相对介电常数 ε_r、极板有效面积 A 及两极板间的距离 δ 有关，即

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{\delta} \tag{6-11}$$

式中　C——电容器的电容量；

ε_0——真空介电常数，$8.854 \times 10^{-12}\,\mathrm{F \cdot m^{-1}}$。

δ、A、ε_r中任一发生变化时，引起电容量变化，测量电路转为电量输出。

1. 特性

结构简单，适应性强；动态响应好；分辨率高；温度稳定性好；可实现非接触测量、具有平均效应。但其输出阻抗高、带负载能力差，输出特性非线性。

2. 选用

（1）CBT30 金属圆柱形接近开关可检测金属、塑料、液体等；有浪涌、逆极性和短路保护；电位器方便调节灵敏度；金属外壳，坚固耐用。其外形见图 6-30，结构尺寸见图 6-31，电气接线见图 6-32，型号见表 6-22，技术指标见表 6-23。

图 6-30　传感器的外形（12）

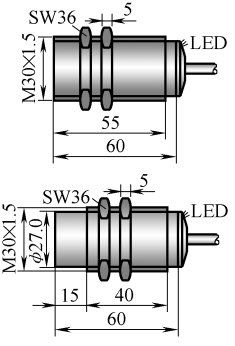


图 6-31　传感器的结构尺寸（9）

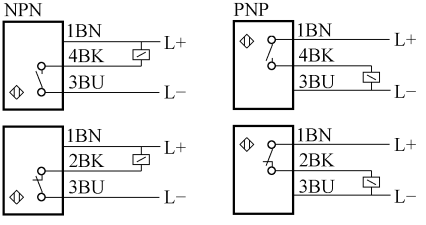


图 6-32　传感器电气接线

表 6-22　CBT30 金属圆柱形接近开关型号

NPN NO	CBT30-S10NA-D3Y2、CBT30-N15NA-D3Y2
NPN NC	CBT30-S10NB-D3Y2、CBT30-N15NB-D3Y2
PNP NO	CBT30-S10PA-D3Y2、CBT30-N15PA-D3Y2
PNP NC	CBT30-S10PB-D3Y2、CBT30-N15PB-D3Y2

表 6-23　CBT30 金属圆柱形接近开关技术指标

参数	技术指标	参数	技术指标
工作电压/V	10～30	工作频率/Hz	50
安装方式	埋入、非埋入	消耗电流/mA	≤10
检测距离/mm	10、15	负载电流/mA	200
外形规格	M30×1.5×60	电压降/V	≤1.8
输出方式	NPN/PNP NO/NC	滞后	4%～20%
漏电流/mA	<0.01	重复精度	≤5%
设定距离/mm	0～7、0～10.5	LED 显示	红色
标准检出物体	—	保护功能	短路、逆极性、过载保护
工作温度/℃	-20～60	外壳材料	黄铜镀镍
温度漂移	< ±10%	检测面材料	PBT
防护等级	IP67	接线方式	电缆线 2m，外径 ϕ4.8mm

（2）CPSKX 方形系列接近开关　其超薄设计便于安装狭小空间；有浪涌、逆极性、过载和短路保护；通过非金属墙壁或容器间接检测容器内物体；电位器方便调节灵敏度；耐酸碱，耐腐蚀。其外形见图 6-33，结构尺寸见图 6-34，电气接线见图 6-35，型号见表 6-24，技术指标见表 6-25。

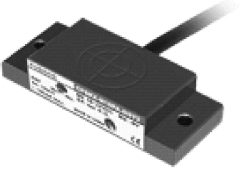


图 6-33　传感器的外形（13）

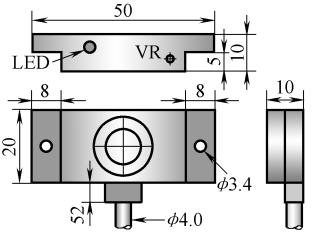


图 6-34　传感器的结构尺寸（10）

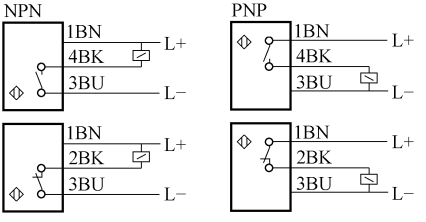


图 6-35　传感器电气接线

表 6-24　CPSKX 方形系列接近开关型号

NPN NO	CPSKX-N10NA-D3Y2
NPN NC	CPSKX-N10NB-D3Y2
PNP NO	CPSKX-N10PA-D3Y2
PNP NC	CPSKX-N10PB-D3Y2

表 6-25　CPSKX 方形系列接近开关技术指标

参数	技术指标	参数	技术指标
工作电压/V	10 ~ 30	滞后	4% ~ 20%
安装方式	非埋入	重复精度	≤5%
检测距离/mm	10	LED 显示	红色
外形规格/mm	20 × 10 × 50	保护功能	短路、逆极性、过载保护
输出方式	NPN/PNP NO/NC	工作温度/℃	-10 ~ +55
漏电流/mA	≤0.01	温度漂移	< ±10%
设定距离/mm	0 ~ 7mm	防护等级	IP67
标准检出物体	—	外壳材料	PC
工作频率/Hz	100	检测面材料	PC
消耗电流/mA	≤10	接线方式	电缆线 2m,外径 ϕ4.0mm
负载电流/mA	100mA	电压降/V	≤1.8

（3）UCD-628 系列射频电容液位变送器　用于化工、食品、制药、污水处理、锅炉汽包等的液位测量。其结构紧凑，安装维护简单，外形尺寸统一；输出多种信号；聚四氟乙烯探极，耐酸、碱性液体及高温；浸入液体测量部分，只有一根四氟软线或四氟棒式探极作为传感元件，可靠性很高；全密封铝合金外壳及不锈钢连接件；对高温压力容器与测量常温常压同样简单，测量值不受被测液体温度、比重及容器形状、压力影响；非隔离两线制、三线制及测量、输出、电源三端隔离四线制电路结构方式，自带隔离器，适应不同信号接地方式；过电流、过电压、电源极性保护。其外形见图 6-36，结构尺寸见图 6-37，安装方法见图 6-38，技术指标见表 6-26。

图 6-36　传感器的外形（14）

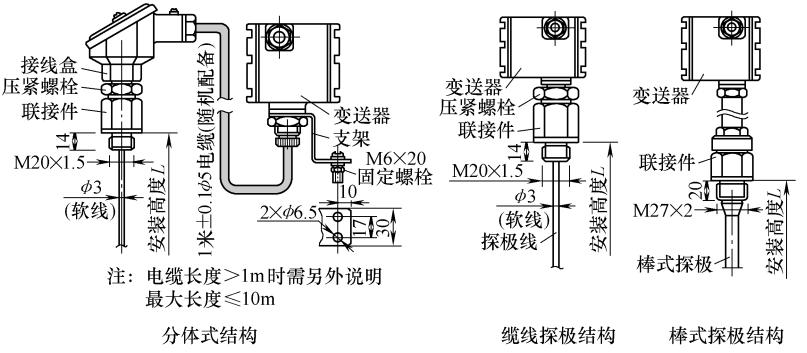


图 6-37　传感器的结构尺寸（11）

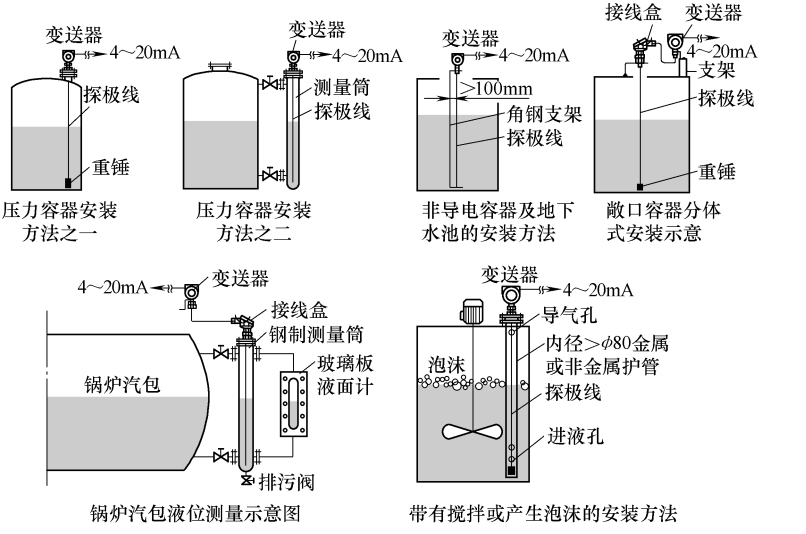


图 6-38　传感器安装方法

表 6-26　UCD—628 系列射频电容液位变送器技术指标

测量范围/m	0.2～20
精度/级	0.5、1.0
探极耐温/℃	－40～250

（续）

允许容器压力/MPa	-1～2.5
测量介质	电导率不低于 10^{-3}S/m 的酸、碱、水等非结晶导电液体
供电电源/V	DC 21～27
输出信号/mA	4～20(0～10,0～20)
输出保护/mA	27
防爆等级	ExdⅡCT5
变送器适应环境温度/℃	-40～60
量程调节范围及零点迁移/(%FS)	≥±30

（4）SHFK—628 系列智能射频电容物位开关　它克服了传统测量方式对报警精度的影响，调校简单、可靠性高，广泛用于石油、化工、冶金、食品、制药等行业。采用数据存储技术，掉电参数不丢失；全密封，无任何机械运动部件和调整电位器；采用射频电容、导纳测量及微控制器技术，几乎可检测所有物料；对任何物料无须调整灵敏度，保证测量精度；克服探头上黏附层及物料喷溅对测量的影响；按动两次设定键可完成报警点设置；上限和下限报警方式灵活设置；TEFLON 保护探极，耐温 260℃，压力 10.5MPa。其外形见图 6-39，结构尺寸见图 6-40，技术指标见表 6-27。

图 6-39　传感器的外形（15）

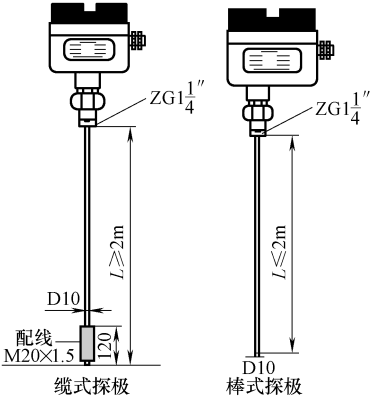


图 6-40　传感器的结构尺寸（12）

表 6-27　SHFK—628 系列智能射频电容物位开关技术指标

电子插件	环境温度/℃	－30～70
	环境湿度	≤95% RH
	防护等级	IP65
	防爆等级	ExiaⅡCT6、dⅡBT4
	电源	DC 24V；AC 85～256V
	介质电常数	≥1.6
	继电器触点容量	AC 250V/10A；DC 24V/10A
	功耗/W	≤2.5
	工作方式	连续
	接线规格/mm^2	2.5
探极部分	规格	350mm、500mm、1m、2m、4m、6m、10m
	过程温度	普通－40～80℃，高温－20～260℃
	过程压力/MPa	0～10.5
	探极种类	棒式(0～2m)，缆式(2m 以上)，同轴(0～2m)

（5）SMP133 通用型压力变送器　具有低压量程性能优异；抗过载能力强，高可靠性稳定性等特点。用于腐蚀性气体、液体、蒸汽的压力和液位测量。其外形见图 6-41，结构尺寸见图 6-42，技术指标见表 6-28，型号规格见表 6-29，电气连接见图 6-43。

图 6-41　传感器的外形（16）

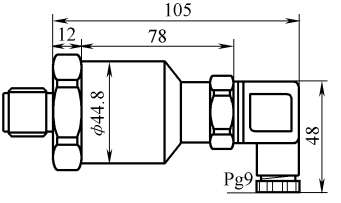


图 6-42　传感器的结构尺寸（13）

表 6-28　SMP133 通用型压力变送器技术指标

	正表压		负表压		绝对压	
测量范围	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围
	2kPa	2MPa	－2kPa	－100kPa	5kPa	2MPa
精度等级	0.2% FS、0.5 % FS					
工作电压	DC 12～30V、DC 24V					
输出信号	4～20mA、0～20mA、DC 1～5V、DC 0～10V、DC 0～5V，可约定					
温度范围	补偿温度		介质温度		工作温度	储存温度
	0～50℃，－10～80℃，可约定		－25～85℃		－20～85℃	－40～125℃

（续）

测量范围	正表压		负表压		绝对压	
	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围
	2kPa	2MPa	-2kPa	-100kPa	5kPa	2MPa
温度影响	0.02% FS/℃					
电气连接	DIN,航空接头,接线端子,可约定					
防护等级	IP65,IP67					
螺纹接口	M20×1.5 外螺纹,G1/2 外螺纹、G1/4 外螺纹,可约定					
抗振动性	20g,20~5000H_z					
抗冲击性	100g,11ms					
外壳材质	SUS304 不锈钢,低铜铝合金					
使用寿命	$>1\times10^8$压力循环					

表 6-29　SMP133 通用型压力变送器型号规格

SMP	代码含义
型号	133—通用型压力变送器
防爆等级	S—标准型(无防爆),I—本安型 ExiaIICT6,D—ExdI-ICT6,Y1—用户约定
传感器选项	S—标准型,H—超稳型
测量范围	前两位是数值,第三位是指数,单位 Pa
压力类型	G—表压,N—复合表压(含正、负表压),A—绝压,B—密封表压
传感器密封件材料	2F—氟橡胶,4F—不锈钢焊接,Y2,用户约定
过程连接件材料	4—不锈钢 304,6—不锈钢 316,Y4—用户约定
过程连接方式	M—外螺纹,G—内螺纹,Y5—用户约定,
电气连接方式	D—DIN43650,W—接线端子,T—接线端子,B—接线端子,Y6—用户约定
精度等级	2—0.2 级,5—0.5 级,Y7—用户约定
显示方式	A—无现场指示,C—LCD 数字量程指示,E—LED 数字量程指示,Y8—用户约定
出线长度	不选为标准出线方式,Y9—用户约定(默认无,单位 m)
信息代码	厂家自定义
特殊要求	Y10—订货时确定

注：B—陶瓷压阻传感器（默认选 H），C—陶瓷电容传感器（默认选 S），L—隔离硅压阻传感器，M—非隔离硅压阻传感器（默认选 H），N—金属电容传感器，P—蓝宝石传感器（仅可以选 H），R—金属应变传感器（默认选 S）。

（6）DMP3051 工业型差压/压力变送器　金属电容传感器；多点温度和线性补偿，提高测量精度；模块化设计，现场按键及远程组态；用于气体、液体、蒸汽压力、液位和流量测量场合。其外形见图 6-44，结构尺寸见图 6-45，电气连接见图 6-46，技术指标见表 6-30，型号规格见图 6-31。

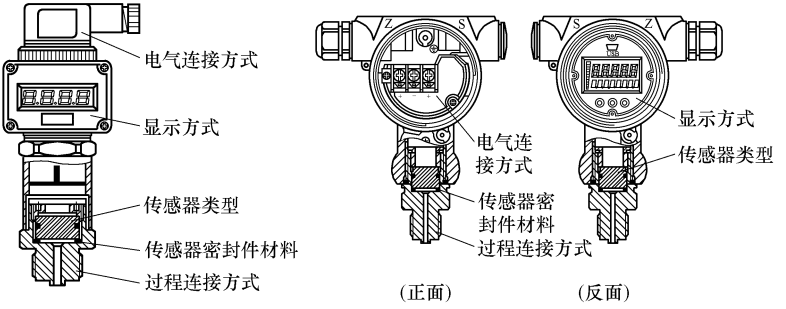


图 6-43　传感器电气接线

图 6-44　传感器的外形（17）

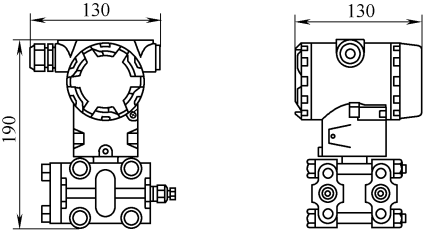


图 6-45　传感器的结构尺寸（14）

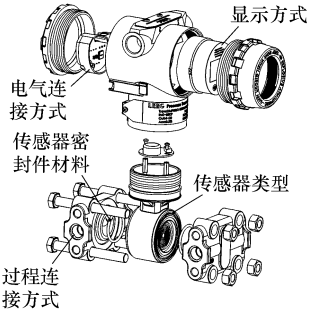


图 6-46　传感器电气连接

表 6-30　DMP3051 工业型差压/压力变送器技术指标

测量范围	正表压		负表压		绝对压	
	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围	最小范围	最大范围
	200Pa	10MPa	-200Pa	-10MPa	20kPa	6.8MPa
精度等级	0.075% FS、0.2% FS、0.5% FS					
工作电压	DC 13 ~45V、DC 24V					
输出信号	4 ~20mA,4 ~20mA/HART,可约定					
温度范围	补偿温度		介质温度		工作温度	储存温度
	0 ~50℃, -10 ~80℃,可约定		-25 ~80℃		-20 ~80℃	-40 ~125℃
温度影响	0.02% FS/℃					
电气连接	接线端子					
防护等级	IP67					
螺纹接口	M20 ×1.5 外螺纹,1/2NPT 内螺纹,1/4NPT 内螺纹,可约定					
抗振动性	20g,20 ~5 000Hz					
抗冲击性	100g,11ms					
外壳材质	低铜铝合金					
使用寿命	$>1\times10^8$压力循环					

图 6-31　DMP3051 工业型差压/压力变送器型号规格

DMP	代码说明
防爆等级	S—标准型(无防爆),I—本安型 Exib II CT6 或 Exia II CT6,D—防爆型 Exd II BT5 或 Exd II CT6,Y1—用户约定
静压类型	S—标准静压,H—高静压,Y2—用户约定
传感器选项	S—标准型,H—超稳型
压力类型	G—表压,D—差压,A—绝压
传感器密封件材料	2F—氟橡胶,4F—不锈钢焊接,Y3—用户约定
传感器测量范围	前 2 位是数值,后三位是指数(单位 Pa)
输出信号方式	F—4 ~20mA,H—4 ~20mA(HART),Y4—用户约定
法兰接头/泄放阀材质	4—304 不锈钢,6—316 不锈钢,Y5—用户约定
排泄阀位置	D0—排泄阀在法兰后部断面,D1—排泄阀在法兰侧面上部,D3—无排泄阀
过程连接方式	P—内螺纹 1/4—NPT(本体),Y6—用户约定
隔离充灌液	D—常温硅油 —45 ~205°C,Y7—用户约定
隔离膜片材料	22—不锈钢材 316L,23—哈氏合金 C,24—蒙乃尔,25—钽,Y8—用户约定

（续）

DMP	代码说明	
电气连接	B—接线端子 内螺纹 M20×1.5，Y9—用户约定	
膜片密封件	S0—不带膜片密封件，S1—单端膜片密封件，S2—双端膜片密封件	
精度等级	2—0.2 级，5—0.5 级，7—0.075 级，Y10—用户约定	
显示方式	A—不带显示，C—LCD 显示，Y11—用户约定	
过程连接选配件	A—不带过程连接选配件，J—外螺纹 M20×1.5，N—内螺纹 1/2-14NPT，C12—外螺纹，Y12—用户约定	
固定选配件	B1—管装弯支架（2″管子），B2—管装弯支架，B3—管装弯平架（2″管子），Y13—用户约定	
特殊要求	Y14	具体订货说明

四、压电式传感器

这种传感器可将被测量变化转换成由于材料受机械力产生的静电电荷或电压变化。基于压电效应分为正压电和逆压电效应。前者指当晶体受到某固定方向外力的作用时，内部产生电极化，在某两个表面产生符号相反的电荷，外力撤去后晶体恢复到不带电状态，外力作用方向改变时，电荷的极性也改变，晶体受力所产生的电荷量与外力大小成正比，压电式传感器利用正压电效应制成；后者指在晶体极化方向施加交变电场，这些物质在一定方向产生机械变形或机械应力，当撤去外电场时，变形或应力也消失，此为逆压电效应或电致伸缩效应。

1. 特性

具有响应频带宽、灵敏度高、信噪比大、结构简单、工作可靠，与之配套的二次仪表的低噪声、小电容、高绝缘电阻电缆。广泛用于工程力学、生物医学、石油勘探等。

2. 选用

（1）电压输出型加速度传感器　CA—YD 系列 IEPE 压电式加速度传感器内部自带电荷放大器。电源和信号输出共用 1 根电缆，即用同轴电缆为传感器供给 2～10mA 恒流电源，输出信号也由同轴电缆输出。降低干扰，可靠性高，测试方式简便。IEPE 加速度传感器用通用电缆传输。

1）CA—YD—180 通用振动 IEPE 压电加速度传感器。其外形见图 6-47，结构尺寸见图 6-48，技术指标见表 6-32。

图 6-47　传感器的外形（18）

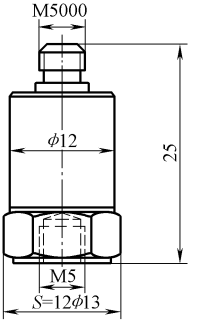


图 6-48　传感器的结构尺寸（15）

表 6-32　CA—YD—180 通用振动 IEPE 压电加速度传感器技术指标

参数	技术指标	参数	技术指标
轴向灵敏度(20 ±5)℃/(mV/g)	5	工作电流/mA	+2 ~ +10
测量范围/g	1 000	最大输出信号(峰值)/V	≤6
最大轴向灵敏度	≤5%	噪声(1 ~20kHz)/mg	<8
频率响应/Hz	1 ~10 000	基座应变/(mg/μg)	5
安装谐振频率/Hz	40 000	磁灵敏度/(g/T)	0.5
温度响应	见产品温度曲线	瞬态温度	5 mg/℃
极性(加速度方向从底部到传感器)	正向	输出阻抗/Ω	<100
工作温度范围/℃	-20 ~ +120	直流偏置电压/V	12 ±2/7 ±1
冲击极限/g	5000	重量/g	10
工作电压(恒流源)/V	18 ~28	外壳材料	不锈钢
安装	M5	输出方式	L5
敏感材料	PZT -5	MD 螺栓、螺母/套	1
结构	环形剪切	2m 双头 L5 STYV—1/根	1

2）CA—YD—152 三向通用振动 IEPE 压电加速度传感器。其外形见图 6-49，结构尺寸见图 6-50，技术指标见表 6-33。

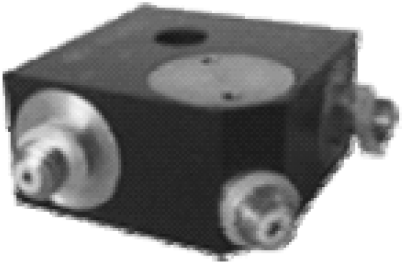


图 6-49　传感器的外形（19）

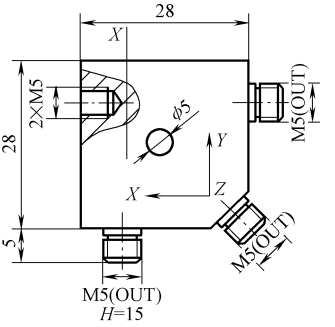


图 6-50　传感器的结构尺寸（16）

表 6-33　CA—YD—15Z 三向通用振动 IEPE 压电加速度传感器技术指标

参数	技术指标	参数	技术指标
轴向灵敏度(20 ±5)℃/(mV/g)	20	工作温度范围/℃	-20 ~ +120
测量范围(峰值)/g	250	冲击极限/g	5 000
频率响应/Hz	0.5 ~4 000	工作电压(恒流源)/V	18 ~28
安装谐振频率/Hz	15 000	工作电流/mA	+2 ~ +10
温度响应	见产品温度曲线	输出偏置电压/V	12 ±2
极性(加速度方向从底部到传感器)	正向	重量/g	28
外壳材料	不锈钢	配套件	
安装	X,Y:M5;Z:ϕ5 通孔	MD 螺栓、螺母/套	1
2m 双头 L5 STYV—1/根	3		

3）CA—YD 系列压电式加速度传感器。采用压电效应材料如石英、压电陶瓷等作为敏感元件，频率响应范围宽、灵敏度高、动态特性好、横向灵敏度低、抗干扰能力强，广泛用于振动、冲击等动态测试场合。CA—YD—103 型通用振动 PE 压电加速度传感器的外形见图 6-51，结构尺寸见图 6-52，技术指标见表 6-34。

表 6-34　CA—YD—103、CA—YD—109 型压电式加速度传感器技术指标

CA—YD—103 型		CA—YD—109 型	
轴向灵敏度(20 ±5)℃/(pC/g)	≈20	轴向灵敏度(20 ±5)℃/(pC/g)	2 500
最大横向灵敏度(%)	≤5	最大横向灵敏度(%)	≤5
频率响应/Hz	0.5 ~12 000	频率响应/Hz	0.2 ~1 000

（续）

CA—YD—103 型		CA—YD—109 型	
安装谐振频率/Hz	40000	安装谐振频率/Hz	40000
温度响应	见产品温度曲线	温度响应	见产品的温度曲线
极性(加速度方向从底部到传感器)	正向	极性(加速度方向从底部到传感器)	正向
绝缘电阻/Ω	10^9	绝缘电阻/Ω	10^9
电容/pF	≈600	电容/pF	≈600
工作温度范围/℃	-20～120	工作温度范围/℃	-40～150
冲击极限/g	2 000	冲击极限/g	400
瞬态温度/(g/℃)	0.5(0.3Hz)	瞬态温度/(mg/℃)	20(0.3Hz)
磁灵敏度/(g/T)	2	磁灵敏度/(g/T)	3(0.03T、50Hz)
基座应变/(g/με)	0.6	基座应变	0.5
重量/g	14	重量/g	210
壳体材料	不锈钢	壳体材料	不锈钢
安装	M5	安装	M5
压电材料	PZT—5	压电材料	PZT—5
结构设计	中心压缩	结构设计	平面剪切
输出方式	侧端 L5	输出方式	侧端 L5
配套件		配套件	
传感器合格证	标定参数、频响曲线	传感器合格证	标定参数、频响曲线
M5、M5/M8、保护帽/套	1	M5、M5/M8、保护帽/套	1
双头 L5 STVV-1/根	2m	双头 L5 STVV-1/根	2m

图 6-51　传感器的外形（20）

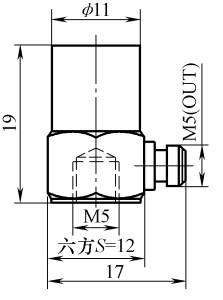


图 6-52　传感器的结构尺寸（17）

CA—YD—109 低频高灵敏度 PE 压电加速度传感器的外形见图 6-53，结

构尺寸见图 6-54，技术指标见表 6-34。

图 6-53　传感器的外形（21）

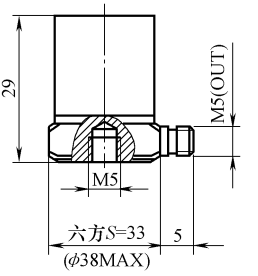


图 6-54　传感器的结构尺寸（18）

（2）力传感器

1）CL—YD 系列压电式力传感器。利用压电晶体的压电效应，即压电式力传感器的输出电荷信号与外力成正比。具有频率范围宽、动态范围大、体积小和重量轻等特点。可加装电路，直接输出电压信号。CL—YD—311 双向拉压电荷输出型力传感器的外形见图 6-55，结构尺寸见图 6-56，技术指标见表 6-35。

图 6-55　传感器的外形（22）

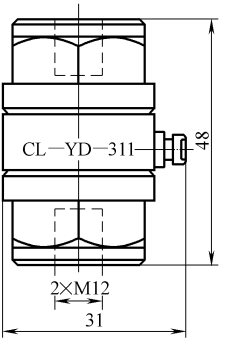


图 6-56　传感器的结构尺寸（19）

表 6-35　CL—YD—311 双向拉压电荷输出型力传感器技术指标

静态指标		动态指标		物理参数		附件	
电荷灵敏度（20±5）℃/（pC/MPa）	3	自振频率/Hz	>40	壳体材料	高强度不锈钢	传感器合格证	（具体标定参数）

（续）

静态指标		动态指标		物理参数		附件	
测压范围/kN	±10	工作温度/℃	-40～150	重量/g	145	保护帽/只	1
拉压灵敏度误差(%)	≤2			安装	M12	双头 L5 ST YV-1 电缆/根	1(2m)
过载能力(%)	120			压电材料	石英晶体	密封垫圈/只	1
非线性/(%FS)	<1			输出方式	侧端 L5 插座		
迟滞/(%FS)	<1						
重复性/(%FS)	<1						
绝缘电阻/Ω	$>10^{13}$						
电容/pF	18						

CL—YD—3301 三向力传感器的外形见图 6-57，结构尺寸见图 6-58，技术指标见表 6-36。

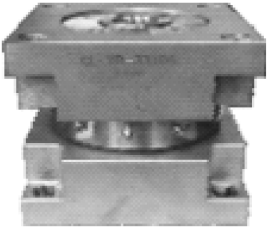


图 6-57　传感器的外形（23）

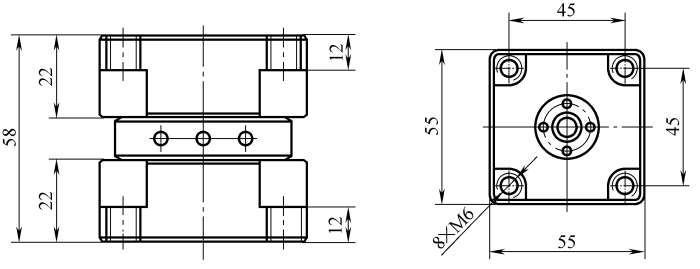


图 6-58　传感器的结构尺寸（20）

表 6-36　CL—YD—3301 三向力传感器技术指标

电荷灵敏度(20±5)℃/(pC/N)	Z 方向	3.5	线性度/(%FS)	<1
	X 方向、Y 方向	7.5	迟滞/(%FS)	
测力范围/kN	Z 方向	±10	重复性/(%FS)	
	X 方向、Y 方向	±2	电容/pF	80
过载能力(%)		110	壳体材料	高强度不锈钢
谐振频率/kHz		>20	安装	8×M6
工作温度范围/℃		-40~80	敏感材料	石英
重量/kg		1	结构	浮置
输出方式		侧端 3—L5 插座	保护帽/只	3
传感器合格证		(静态标定参数)	2m 双头 L5 STYV-1/根	3

2）CY—YD—200 压电式压力传感器。CY—YD 系列压电式压力传感器是利用压电材料的压电效应将被测压力转换为电信号的传感器。它的频率范围宽、动态响应快、温度特性好，适用于动态压力测试。其中 CY—YD—200 压电式压力传感器为水冷型；气缸、管道压力测量；可静态标定；M14×1.25 标准安装螺纹。其外形见图 6-59，结构尺寸见图 6-60，技术指标见表 6-37。

图 6-59　传感器的外形（24）

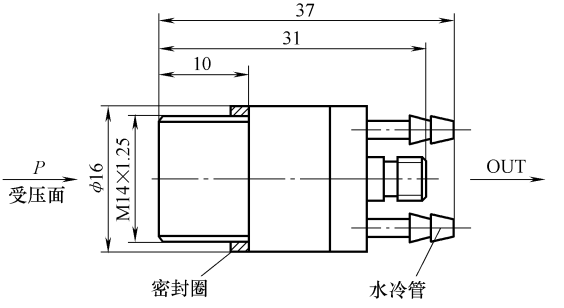


图 6-60　传感器的结构尺寸（21）

表 6-37　CY—YD—200 压电式压力传感器技术指标

静态指标		动态指标		物理参数		附件	
压力灵敏度(20±5)℃/(pC/MPa)	200	自振频率/kHz	>75	壳体材料	高强度不锈钢	传感器合格证	(具体标定参数)

（续）

静态指标		动态指标		物理参数		附件	
测压范围/MPa	0～15	工作温度/℃	－40～300	重量/g	28	保护帽/只	1
过载能力(%)	120			安装	M14×1.25	密封垫圈/只	1
非线性/(%FS)	<1			压电材料	石英晶体	双头 L5 STYV－1 电缆/根	1(2m)
迟滞/(%FS)	<1			输出方式	L5		
重复性/(%FS)							
绝缘电阻/Ω	$>10^{13}$						
电容(1 000 Hz)/pF	7						

五、热电阻式传感器

利用导体电阻随温度变化的特性，用于测量温度和温度。具有准确度高、输出信号大、灵敏度高；测温范围广、稳定性好；无须参考点；输出线性好；方便自动测量和远距离测量等特点。但采用细金属丝热电阻元件抗机械冲击与振动性能差；元件结构复杂、尺寸较大、热响应时间长；不适宜测量体积狭小和温度瞬变区域。

1. 安装要求

（1）合理选择测点位置　热电阻测量端与被测介质之间有充分的热交换，，尽量避免在阀门、弯头及管道和设备死角附近装设热电阻。

（2）减少测量误差　带有保护套管的热电阻有传热和散热损失，热电阻应该有足够的插入深度。

1）对测量管道中心流体温度的热电阻，将测量端插入到管道中心处，垂直安装或倾斜安装。

2）对高温高压和高速流体温度测量，为减小保护套对流体阻力和防止保护套在流体作用下发生断裂，可采取保护管浅插或热套式热电阻。浅插式保护套管插入主蒸汽管道的深度不小于 75mm；热套式热电阻标准插入深度 100mm。

3）测量烟道内烟气的温度时，烟道直径为 4m，热电阻插入深度 1m。

4）当测量元件插入深度超过 1m 时，应尽可能垂直安装，或加装支撑

架和保护套管。

2. 选用

（1）普通装配式热电阻式传感器　通常和显示仪表、记录仪表等配套使用，可直接测量 -200 ~ 500℃液体、蒸气和气体介质及固体表面温度。其外形见图 6-61，接线盒尺寸见图 6-62。压簧式感温元件，抗振性能好；测量精确度高；机械强度高，耐压性能好；进口薄膜电阻元件，性能可靠稳定。测量范围及允差见表 6-38，适用于铠装和隔爆热电阻，技术参数见表 6-39，安装要求见表 6-40。

图 6-61　传感器的外形（25）

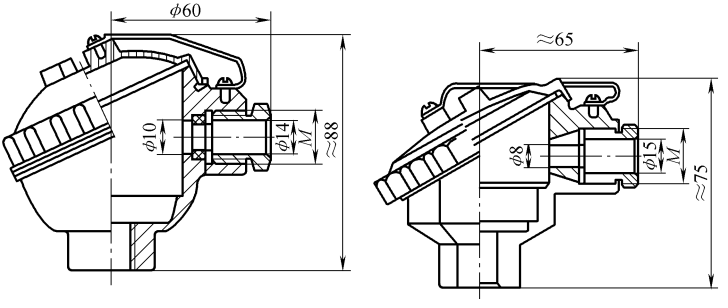


图 6-62　接线盒尺寸（1）

注：电气出口 M 未特殊指明，一律视为 M20 × 1.5。

① 产品执行标准：IEC751；JB/T 8622—1997；JB/T 8623—1997。

② 常温绝缘电阻：热电阻在环境温度 15 ~ 35℃，相对湿度不高于

80%，直流试验电压 10 ~ 100V 电极与外套管之间的绝缘电阻不小于 100MΩ。

表 6-38　测量范围及允差

型号	分度号	测温范围/℃	精度等级	允许偏差
WZP	Pt100	−200 ~ +500	A 级	±(0.15 + 0.002|t|)
WZC	Cu50		B 级	±(0.30 + 0.005|t|)
	Cu100	−50 ~ +100	—	±(0.30 + 0.006|t|)

注：t 为感温元件实测温绝对值。

表 6-39　普通装配式热电阻技术参数

序号	形式	保护管材质	公称压力	热响应时间
1	无固定	1Cr18Ni9Ti	常压	<90s
2	固定螺纹		≤10MPa	
3	活动法兰		常压	
4	固定法兰		≤2.5MPa	
5	活络管接头式		常压	
6	固定螺纹锥形式		≤30MPa	
7	直形管接头式		常压	
8	固定螺纹管接头式			
9	活动螺纹管接头式			

注：保护管外径为 ϕ16mm、ϕ12mm 两种

表 6-40　普通装配式热电阻安装技术要求

固定装置类型	插入深度 L/mm								
	150	200	250	300	350	500	1 000	1 500	2 000
无固定									
固定螺纹									
活动法兰									
固定法兰									
活络管接头式									
锥形固定螺纹式									
直形管接头式									
固定螺纹管接头式									
活动螺纹管接头式									

注：保护管总长 = L + 150mm。

（2）铠装热电阻式传感器　通常和显示仪表、记录仪表等配套使用，可直接精确测量 −200 ~ 500℃液体、蒸气和气体介质及固体表面温度。其外

形见图 6-63，卡套螺纹接头尺寸见图 6-64，结构尺寸见图 6-65，接线盒尺寸见图 6-66，安装方式见图 6-67。具有热响应时间少，减小动态误差；直径小、长度不受限制；测量精确度高；进口薄膜电阻元件，性能可靠稳定等特点。铠装热电阻保护带的直径及材料见表 6-41，测量范围及允差见表 6-42，热响应时间见表 6-43，卡套螺纹接头尺寸见表 6-44 和表 6-45。

图 6-63　传感器的外形（26）

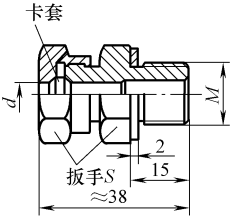


图 6-64　卡套螺纹接头尺寸

① 产品执行标准：IEC751；IEC1515；JB/T 8623—1997；JB/T 8622—1997。

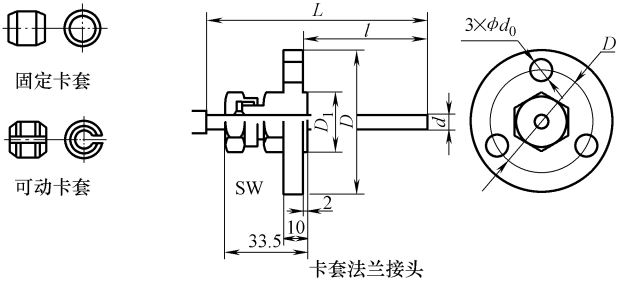


图 6-65　传感器的结构尺寸（22）

表 6-41　铠装热电阻保护带的直径及材料

引线形式	套管直径/mm	套管材质
		Pt100
单支式	φ2	1Cr18Ni9Ti
	φ3	
	φ4	
	φ5	
	φ6	
	φ8	

（续）

引线形式	套管直径/mm	套管材质
		Pt100
双支式	$\phi3$	1Cr18Ni9Ti
	$\phi4$	
	$\phi5$	
	$\phi6$	
	$\phi8$	

表 6-42　测量范围及允差

型号	分度号	测温范围/℃	精度等级	允差
WZPK	Pt100	-200 ~ +500	A 级	$\pm(0.15+0.002\lvert t\rvert)$
			B 级	$\pm(0.30+0.005\lvert t\rvert)$

注：t 为感温元件实测温绝对值。

② 常温绝缘电阻。热电阻在环境温度 15 ~ 35℃、相对湿度不高于 80%，直流试验电压为 10 ~ 100V，电极与外套管之间的绝缘电阻不小于 100MΩ。

表 6-43　热响应时间

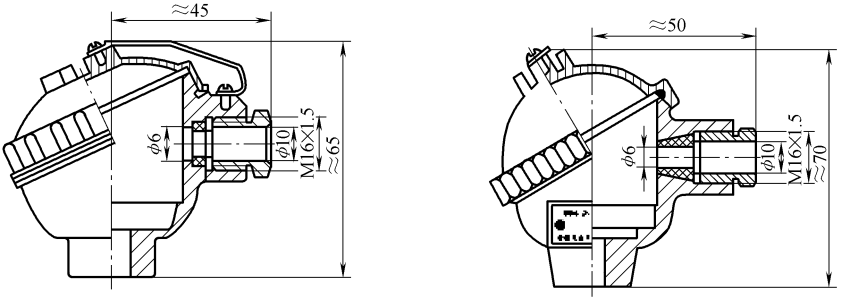
套管直径/mm	热响时间 $\tau0.5$/s
$\phi3$	≤3
$\phi4$	≤5
$\phi5$	≤6
$\phi6$	≤8
$\phi8$	≤10

表 6-44　卡套螺纹接头尺寸

代号和尺寸	铠装偶外径					
	$\phi8$	$\phi6$	$\phi5$	$\phi4$	$\phi3$	$\phi2$
M	M16 × 1.5			M12 × 1.5		
S	22			19		

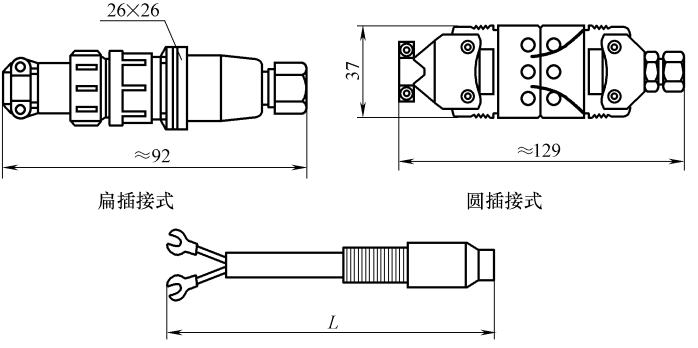
表 6-45　卡套螺纹接头尺寸

代号和尺寸	铠装偶外径					
	$\phi8$	$\phi6$	$\phi5$	$\phi4$	$\phi3$	$\phi2$
D	$\phi60$			$\phi50$		
D0	$\phi42$			$\phi36$		
D1	$\phi24$			$\phi20$		
S	22			19		
d0	$\phi9$			$\phi7$		



防喷式　　防水式

图 6-66　接线盒尺寸（2）



扁插接式　　圆插接式

带补偿导线式

图 6-67　安装方式

（3）隔爆热电阻传感器　通常和显示仪表、记录仪表等配套使用，用于直接测量生产现场存在碳氢化合物等爆炸的 0～500℃液体、蒸气和气体介质及固体表面温度。其外形见图 6-68，防爆分组形式见图 6-69，接线盒尺寸见图 6-70。压簧式感温元件，抗振性能好，测量范围大，无须补偿导线；进口薄膜电阻元件，性能可靠稳定。测量范围及允差见表 6-46。

图 6-68　传感器的外形（27）

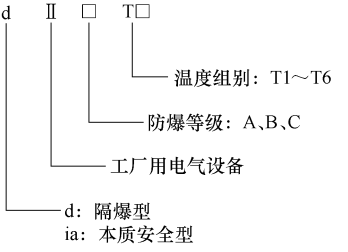


图 6-69　防爆分组形式

① 产品执行标准：IEC751，JB/T 8622—1997；JB/T 8623—1997；JB/T 5518—1991。

② 常温绝缘电阻。防爆热电阻在环境温度 15～35℃、相对湿度不高于 80%，直流试验电压为 10～100V，电极及外套管之间的绝缘电阻不小于 100MΩ。

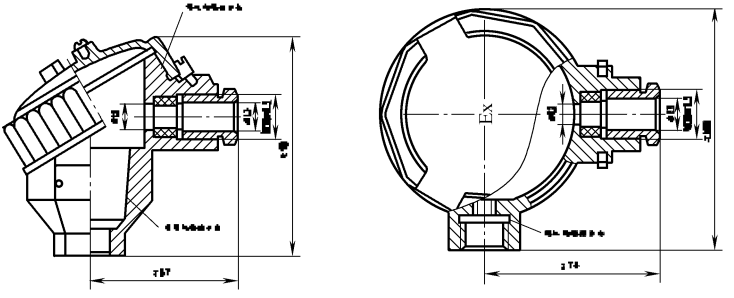
表 6-46　测量范围及允差

型号	分度号	测量范围/℃	精度等级	允许偏差
HR—WZPJ	Pt100	－200～＋500	A 级	±(0.15＋0.002|t|)
			B 级	±(0.30＋0.005|t|)
HR—WZCJ	Cu50 Cu100	－50～＋100	—	±(0.30＋0.006|t|)

注：t 为感温元件实测温绝对值。

③ 电气设备类别。Ⅰ类—煤矿井下用电气设备；Ⅱ类—工厂用电气设备。

④ 防爆级别。EXdⅡ□T□；ExiaⅡ□T□；防护等级 IP65。



dⅡBT□级　　dⅡCT□级

图 6-70　接线盒尺寸（3）

六、热电偶式传感器

这种传感器可以将温度转换为电动势，是利用热电效应制成的。所谓热电效应，就是用两种不同材料的导体（或半导体）组成一个闭合回路，当两个连接点的温度不同时，在该回路中会产生电动势。

1. 特性

将温度量转换成电量检测；结构简单、制造容易；价格便宜；惰性小；准确度高；测温范围广；适应各种测量对象；适于远距离测量和控制。但测量准确度低于 0.2℃；必须有参考端且温度要保持恒定；高温或长期使用时，因受被测介质影响或气氛腐蚀作用等而发生劣化。

2. 选用

（1）选择热电偶式传感器时应考虑的因素 被测温度范围；所需响应时间；连接点类型；热电偶或护套材料的抗化学腐蚀能力；抗磨损或抗振动能力；安装及限制要求等。

（2）选型　根据使用温度范围、所需精度、使用气氛、测定对象的性能、响应时间和经济效益等综合考虑。

1）测量精度和温度测量范围：使用温度 1 300 ~ 1 800℃，要求精度较高时选用 B 型热电偶；精度要求不高时允许用钨铼热电偶，高于 1 800℃用钨铼热电偶；使用温度 1 000 ~ 1 300℃，精度较高时，用 S 型和 N 型热电偶；1000℃以下一般用 K 型和 N 型热电偶，低于 400℃用 E 型热电偶；250℃以下及负温测量，用 T 型电偶，在低温时 T 型热电偶稳定而且精度高。标准化热电偶的选用见表 6-47。

表 6-47　标准化热电偶的选用

型号标志	材料	测温范围/℃
S	铂铑 10-铂	－50 ~ 1 768
R	铂铑 13-铂	－50 ~ 1 768
B	铂铑 30-铂 6	0 ~ 1 820
K	镍铬-镍硅	－270 ~ 1 372
N	镍铬硅-镍硅	－270 ~ 1 300
E	镍铬-铜镍合金（锰白铜）	－270 ~ 1 000
J	铁-铜镍合金（锰白铜）	－270 ~ 1 200
T	铜-铜镍合金（锰白铜）	－270 ~ 400

2）使用环境：S 型、B 型、K 型热电偶适合于强氧化和弱还原气氛中，J 型和 T 型热电偶适合于弱氧化和还原气氛，若使用气密性较好的保护管，对气氛要求不太严格。

3）耐久性及热响应性：线径大的热电偶耐久性好，但响应慢，对热容

量大的热电偶响应慢。要求响应时间快并有一定耐久性，选用铠装热电偶。

4）测量对象性质和状态：运动物体、振动物体、高压容器的测温要求机械强度高，有化学污染的气氛要求有保护管，有电气干扰的情况下要求绝缘比较高。

5）选型流程：型号；分度号；防爆等级；精度等级；安装固定形式；保护管材质；长度或插入深度。

（3）安装要求　安装时应注意有利于测温准确，安全可靠、维修方便，不影响设备运行和生产操作。

1）为使热电偶的测量端与被测介质之间热交换充分，应合理选择测点位置，尽量避免在阀门、弯头及管道和设备死角附近装设热电偶。

2）带保护套管的热电偶有传热和散热损失，应有足够的插入深度。

3）对测量管道中心流体温度的热电偶，一般将测量端插入到管道中心处，且应垂直安装或倾斜安装。如被测流体的管道直径是 200mm，插入深度应 100mm。

4）对高温高压和高速流体的温度测量，为减小保护套对流体阻力和防止保护套在流体作用下发生断裂，可采取浅插式保护管或热套式热电偶，浅插式保护套管插入主蒸汽管道的深度不小于 75mm；热套式热电偶标准插入深度 100mm。

5）测量烟道内烟气温度时，烟道直径为 4m，热电偶插入深度 1m。

6）当测量元件插入深度超 1m 时，应尽可能垂直安装，或加装支撑架和保护套管。

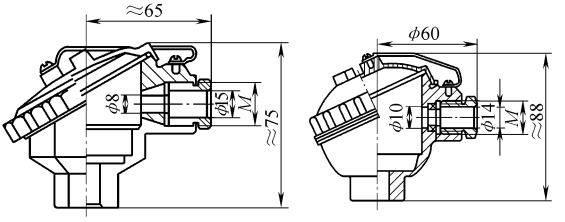
（4）主要类型

1）普通装配式热电偶传感器：通常和显示仪表、记录仪表、电子计算机等配套使用，用于直接测量 0～1300℃的液体、蒸汽和气体介质及固体表面温度。装配简单，更换方便；压簧式感温元件，抗振性能好；测量范围大；机械强度高，耐压性能好。其外形见图 6-71，接线盒尺寸图 6-72，测量范围及允差见表 6-48。

图 6-71　传感器的外形（28）

① 产品执行标准：IEC584；IEC1515；GB/T 16836—1997；JB/T 5582—1991。

② 常温绝缘电阻：热电偶在环境温度为 20±15℃，相对湿度不高于 80%，直流试验电压（500±50）V，电极与外套管之间的绝缘电阻不小于 100MΩ。



防喷式　　防水式

图 6-72　接线盒尺寸（4）

注：电气出口 M 未特殊指明视为 M20×1.5。

表 6-48　测量范围及允差

型号	分度号	允许误差与偶材等级			
		Ⅰ级		Ⅱ级	
		允差值	测温范围/℃	允差值	测温范围/℃
WRN	K	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 1 000	±2.5℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 1 200
WRM	N	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 1 000	±2.5℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 1 200
WRE	E	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 800	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 900
WRF	J	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 750	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 750
WRC	T	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +125 125 ~ 350	±1℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 133 ~ 350
WRP	S	±1℃ ±[1 + 0.003 (t − 1 100)]	0 ~ +1 100 1 100 ~ 1 600	±2.5℃ ±0.002 5 | t |	0 ~ 600 600 ~ 1 600

注：t 为感温元件实测温绝对值。

2）铠装热电偶传感器：通常和显示仪表、记录仪表等配套使用，用于直接测量 0 ~ 1 300℃的液体、蒸气和气体介质及固体表面温度。其外形见图 6-73，卡套螺纹接头尺寸见图 6-74，结构尺寸见图 6-75，接线盒尺寸见图 6-76，安装方式见图 6-77。热响应时间少，减小动态误差；可弯曲安装使用；测量范围大；机械强度高，耐压性能好。测量范围及允差见表 6-49，热响应时间见表 6-50，安装固定形式的卡套螺纹接头见表 6-51，铠装热电

偶推荐使用温度见表 6-52。

① 产品执行标准：IEC584；IEC1515；GB/T 16839—1997；JB/T 5582—1991。

图 6-73　传感器的外形（29）

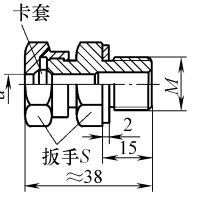


图 6-74　卡套螺纹接头尺寸

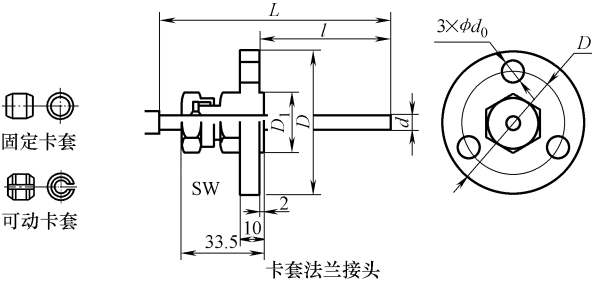


图 6-75　传感器的结构尺寸（23）

表 6-49　测量范围及允差

型号	分度号	允许误差与偶材等级			
		Ⅰ级		Ⅱ级	
		允差值	测温范围/℃	允差值	测温范围/℃
WRNK	K	±1.5℃	−40 ~ +375	±2.5℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	375 ~ 1 000	±0.007 5 | t |	333 ~ 1 200
WRMK	N	±1.5℃	−40 ~ +375	±2.5℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	375 ~ 1 000	±0.007 5 | t |	333 ~ 1 200
WREK	E	±1.5℃	−40 ~ +375	±1.5℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	375 ~ 800	±0.004 | t |	333 ~ 900
WRFK	J	±1.5℃	−40 ~ +375	±1.5℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	375 ~ 750	±0.004 | t |	333 ~ 750

（续）

型号	分度号	允许误差与偶材等级			
		Ⅰ级		Ⅱ级	
		允差值	测温范围/℃	允差值	测温范围/℃
WRNK	K	±1.5℃	−40 ~ +375	±2.5℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	375 ~ 1 000	±0.007 5 | t |	333 ~ 1 200
WRCK	T	±1.5℃	−40 ~ +125	±1℃	−40 ~ +333
		±0.004 | t |	125 ~ 350	±0.0075 | t |	133 ~ 350
WRPK	S	±1℃	0 ~ +1 100	±2.5℃	0 ~ 600
		±[1 + 0.003 (t − 1 100)]	1 100 ~ 1 600	±0.0025 | t |	600 ~ 1 600

注：t 为感温元件实测温绝对值。

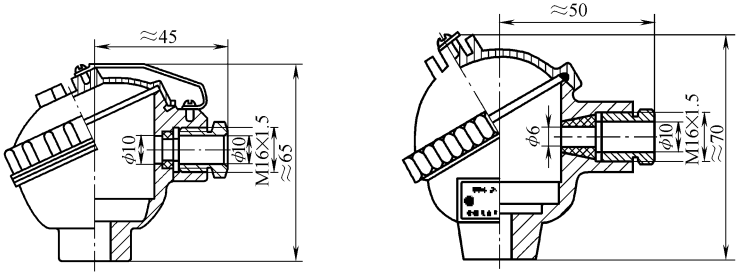
② 常温绝缘电阻：铠装偶在环境温度 20 ± 15℃，相对湿度不高于 80%，直流试验电压为（500 ± 50）V，电极与外套管之间的绝缘电阻不小于 1 000MΩ。

表 6-50　热响应时间

套管直径	热响时间 τ0.5/s
ϕ3	≤3
ϕ4	≤5
ϕ5	≤6
ϕ6	≤8
ϕ8	≤10

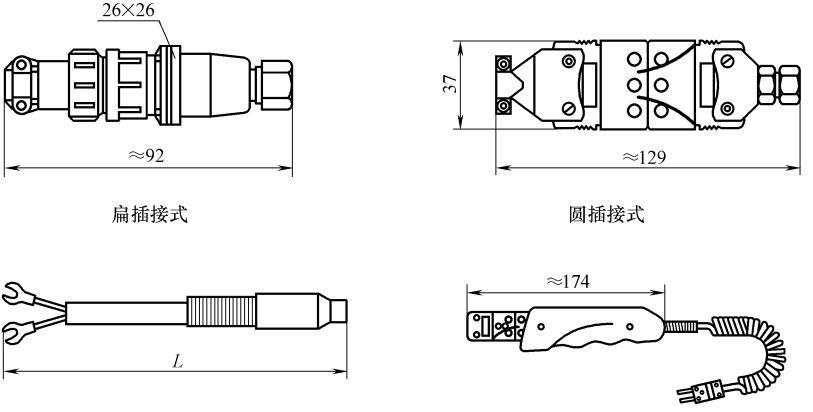
表 6-51　卡套螺纹接头

代号和尺寸	铠装偶外径					
	ϕ8	ϕ6	ϕ5	ϕ4	ϕ3	ϕ2
M	M16 × 1.5			M12 × 1.5		
S	22			19		
代号和尺寸	铠装偶外径					
	ϕ8	ϕ6	ϕ5	ϕ4	ϕ3	ϕ2
D	ϕ60			ϕ50		
D0	ϕ42			ϕ36		
D1	ϕ24			ϕ20		
S	22			19		
d0	ϕ9			ϕ7		



防喷式　　防水式

图 6-76　接线盒尺寸（5）



扁插接式　　圆插接式

补偿导线式　　手柄式

图 6-77　安装方式

表 6-52　铠装热电偶推荐使用温度

材料	套管材料	外径/mm	使用温度/℃	
			长期使用温度	短期使用温度
铠装镍铬-镍硅	1Cr18Ni9Ti	2.0	600	700
		3.0、4.0、5.0、6.0、8.0	800	900
	GH3030	2.0、3.0		
		4.0、5.0	900	1 000
		6.0、8.0	1 000	

（续）

材料	套管材料	外径/mm	使用温度/℃	
			长期使用温度	短期使用温度
铠装镍铬硅-镍硅	1Cr18Ni9Ti	2.0	600	700
	GH3030	3.0、4.0、5.0、6.0、8.0	800	900
		2.0、3.0	900	1 000
		4.0、5.0	1 000	1 100
	GH3039	6.0、8.0	1 100	1 200
		2.0、3.0、4.0	1 000	1 100
		5.0、6.0、8.0	1 100	1 200
铠装镍铬-铜镍	1Cr18Ni9Ti	2.0	500	600
		3.0、4.0、5.0	600	700
		6.0、8.0	700	800
铠装铁-铜镍	1Cr18Ni9Ti	2.0	400	500
		3.0、4.0、5.0	500	600
铠装铜-铜镍	1Cr18Ni9Ti	6.0、8.0	600	700
		2.0、3.0、4.0、5.0	250	300
铠装铂铑10-铂	GH3039	6.0、8.0	300	350
		2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0	1 000 1 100	1 100 1 200

3）防爆热电偶传感器：通常和显示仪表、记录仪表等配套使用，用于直接测量现场存在碳氢化合物等爆炸的0～1300℃液体、蒸气和气体介质及固体表面温度。其外形见图6-78，防爆分组形式见图6-79，接线盒尺寸见图6-80。具有多种防爆形式，防爆性能好；压簧式感温元件，抗振性能好；测量范围大；机械强度高，耐压性能好等特点。测量范围及允差见表6-53，防爆等级，即热电偶防爆等级按使用于爆炸性气体混合物最大安全间隙分为A、B、C三级，见表6-54。温度组别即防爆热电偶的温度组别，按照外露部分允许最高表面温度分为T1～T6，见表6-55。

① 产品执行标准。IEC584；GB/T 16839—1997；IEC1515；JB/T 5518—1991；GB 3836。

② 常温绝缘电阻。热电偶在环境温度（20±15）℃、相对湿度不高于80%，直流试验电压（500±50）V，电极与外套管之间的绝缘电阻不小于100MΩ。

③ 电气设备类别。Ⅰ类，煤矿井下用电气设备；Ⅱ类，工厂用电气设备。

④ 防爆级别。EXdⅡ□T□、ExiaⅡ□T□；防护等级，IP65。

图 6-78　传感器的外形（30）

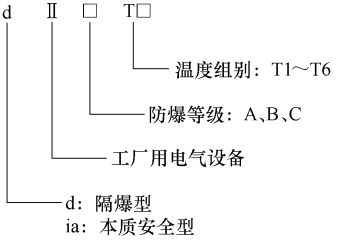


图 6-79　防爆分组形式

表 6-53　测量范围及允差

型号	分度号	允许误差与偶材等级			
		Ⅰ级		Ⅱ级	
		允差值	测温范围/℃	允差值	测温范围/℃
WRN	K	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 1 000	±2.5℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 1 200
WRM	N	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 1 000	±2.5℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 1 200
WRE	E	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 800	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 900
WRF	J	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +375 375 ~ 750	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 ~ +333 333 ~ 750
WRC	T	±1.5℃ ±0.004 | t |	−40 − ~ +125 125 ~ 350	±1℃ ±0.007 5 | t |	−40 ~ +333 133 ~ 350
WRP	S	±1℃ ±[1 + 0.003 (t − 1 100)]	0 ~ +1 100 1 100 ~ 1 600	±2.5℃ ±0.002 5 | t |	0 ~ 600 600 ~ 1 600

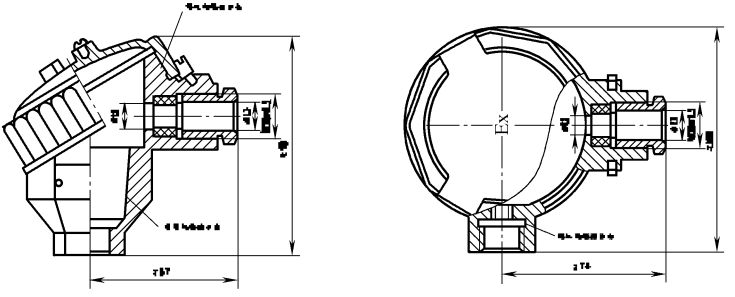
注：t 为感温元件实测温绝对值。

表 6-54　热电偶防爆等级

类别	级别	最大试验安全间隙(MESG)/mm
Ⅱ	A	0.9 ≤ MESG
	B	0.5 < MESG < 0.9
	C	MESG ≤ 0.5

表 6-55　防爆热电偶的温度组别

温度组别	允许最高表面温度/℃
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85



dⅡBT□级　　dⅡCT□级

图 6-80　接线盒尺寸（6）

七、磁敏式传感器

这是一种电参数按一定规律随磁性量变化的传感器。将一载流导体置于外磁场中，电阻会随磁场的变化而变化，此现象称为磁致电阻效应，简称磁阻效应。这类传感器的感应元件包括磁敏电阻、磁敏二极管和磁敏晶体管。

1. 特性

它所具有的特性包括灵敏度特性、电阻特性、温度特性和频率特性。

2. 选用

（1）SMS16 磁敏转速传感器　由磁敏电阻作为感应元件，是新型的转速传感器。感应对象为磁性材料或导磁材料如磁钢、铁和电工钢等。当被测体上凸起（或凹陷）的磁性或导磁材料随被测物体转动时，传感器输出与旋转频率相对应的脉冲信号，以达到测速或位移检测的目的。其外形见图 6-81，结构尺寸见图 6-82，电气接线见图 6-83。它具有安装使用方便、通

用、应用广泛，尤其在低速或超低速非接触检测中，有其他传感器无法达到的特点。如磁电传感器测速范围 50 ~ 5 000Hz，检测距离只有 0.5mm；接近开关无法检测小模齿。在中高速非接触检测中，可直接替代霍尔开关。它的技术参数见表 6-56。

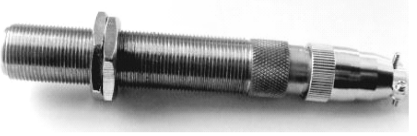


图 6-81　传感器的外形（31）

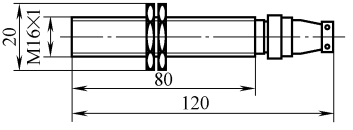


图 6-82　传感器的结构尺寸（24）

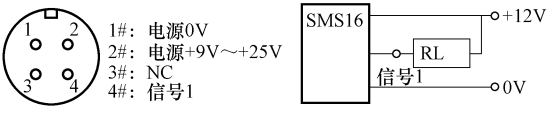


图 6-83　传感器电气接线

表 6-56　SMS16 磁敏转速传感器技术参数

发讯频率/kHz	0 ~ 10
供电电源/V	12 ~ 25
负载电阻/kΩ	≥1.0
检测距离/mm	0.5 ~ 2.0（A3 钢、电工钢）
齿轮模数 m	≥1
齿轮材料	A3 钢、电工钢
输出信号	波形：矩形波；幅值：近电源电压
环境条件	温度：－40 ~ 120℃；相对湿度：≤85%
安装螺纹	M16 × 1

（2）MMS201H 低功耗全极磁开关　集成隧道磁阻 TMR 传感器和 CMOS 技术，为高灵敏度、高速、低功耗、高精度的全极磁开关。两种封装形式

SOT23—3 和 TO—92S，所对应产品型号为 MMS201HS 和 MMS201HT。其外形见图 6-84，管脚定义见图 6-85，磁感应方向见图 6-86，结构尺寸见图 6-87。采用隧道磁电阻（TMR）技术；全极磁开关；高灵敏度，低开关点；超低功耗；宽工作电压范围；温度稳定性好；高速磁场检测和高的频率响应。它的引脚功能见表6-57，极限参数见表 6-58，性能参数见表 6-59，磁特性参数见表 6-60，输出和磁场关系见表 6-61。

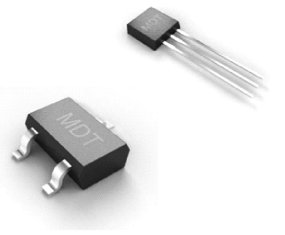


图 6-84　传感器的外形（32）

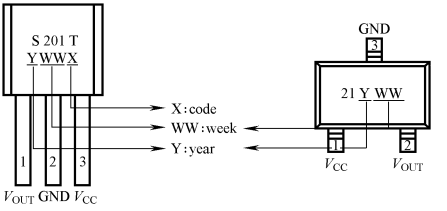


图 6-85　传感器管脚定义

表 6-57　传感器管脚功能

管脚名称	序号		功能
	TO—92S	SOT23—3	
V_{OUT}	1	2	输出
GND	2	3	地
V_{CC}	3	1	电源

表 6-58　传感器极限参数

参数	最大额定值
工作电压 V_{CC}/V	7
反向供电电压 V_{RCC}/V	0.4
输出电流 $I_{OUTSINK}$/mA	10
外加磁场 B/G	1 200
ESD 性能(HBM) V_{ESD}/kV	5.5
使用温度 T_A/℃	-40 ~ 125
储存温度 T_{stg}/℃	-50 ~ 150

表 6-59　传感器性能参数（$V_{CC}=3.0V$，$T_A=25°C$）

参数	条件	最小值	典型值	最大值
工作电压 V_{CC}/V	正常工作	1.8	3.0	5.5
输出高电压 V_{OH}/V		2.7		3
输出低电压 V_{OL}/V		0		0.2
工作电流 I_{CC}/μA	输出开路		4.5	5.5
响应频率 f/kHz			1	
开启时间 t_{PO}/μs			200	

注：以上测试中，电源和地之间需接 0.1μF 的电容。

表 6-60　传感器磁特性参数（$V_{CC}=3.0V$，$T_A=25°C$）

参数	符号	最小值	典型值	最大值
工作点	BOPS/G	10	15	20
	BOPN/G	-20	-15	-10
释放点	BRPS/G	5	10	15
	BRPN/G	-15	-10	-5
回差	BH/G		5	

表 6-61　传感器输出和磁场关系

参数	测试条件	输出信号
南极磁场(S)	B > BOPS	低电平(开)
南极磁场(S)	0 < B < BRPS	高电平(关)
北极磁场(N)	B < BOPN	低电平(开)
北极磁场(N)	0 > B > BRPN	高电平(关)

注：上电时，在工作磁场为零时，输出信号为高电平。

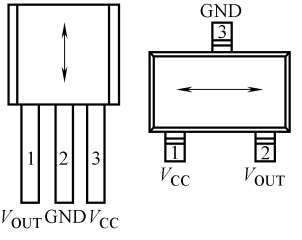
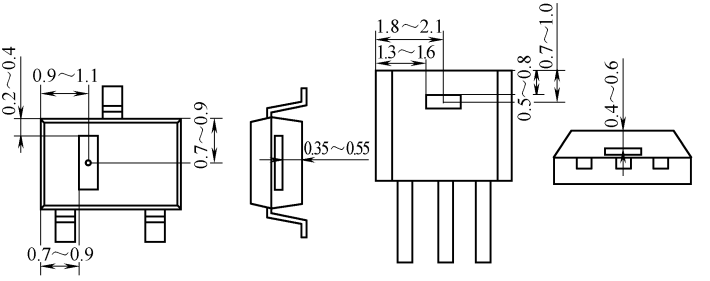


图 6-86　传感器磁感应方向

（3）MMLP57H 线性传感器　采用独特半桥结构，包含两个非屏蔽高灵



单位：毫米

图 6-87　传感器的结构尺寸（25）

敏度 TMR 传感元件。当外加磁场沿平行于传感器敏感方向变化时，半桥提供分压输出，并且该输出具有良好的温度稳定性。MMLP57H 线性传感器性能优越，采用 SOP8 封装（6mm × 5mm × 1.7mm）形式。隧道磁电阻（TMR）技术；高灵敏度；低功耗；超高频率响应；优越的温度稳定性；极小的磁滞；宽工作电压范围。其外形见图 6-88，引脚定义见图 6-89，结构尺寸见图 6-90。管脚功能见表 6-62，极限参数见表 6-63，性能参数见表 6-64。

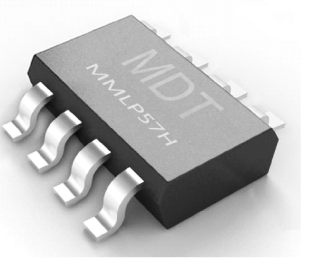


图 6-88　传感器的外形（33）

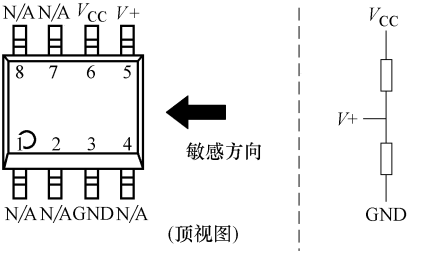
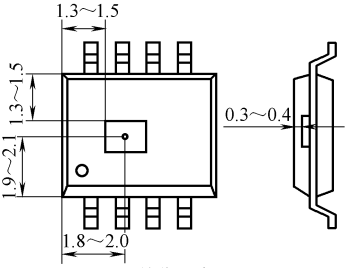


图 6-89　传感器管脚定义



单位：毫米

图 6-90　传感器的结构尺寸（26）

表 6-62　传感器管脚功能

引脚号	符号	引脚描述
3	GND	地
5	V +	半桥输出
6	V_{CC}	电源
1、2、4、7、8	N/A	空脚

表 6-63　传感器极限参数

参数	限值
工作电压 V_{CC}/V	7
反向供电电压 V_{RCC}/℃	7
存储温度 T_{stg}/℃	-50 ~ 150
使用温度 T_A/℃	-40 ~ 125
外加磁场 B/Oe	1 000
ESD 性能（HBM）V_{ESD}/V	4 000

表 6-64　传感器性能参数

（V_{CC} = 1. 0 V，T_A = 25℃）

参数	条件	最小值	典型值	最大值
工作电压 V_{CC}/V			1	7
工作电流 I_{CC}/μA			5	
电阻值 R/kΩ			200	
灵敏度 SEN/(mV/V/Oe)	在 ±30 Oe 范围拟合		3	
动态范围/Oe			±70	
线性范围/Oe	非线性度小于 1%		±30	
失调电压 V_{OQ}/(mV/V)			±2.5	
磁滞 HYs/% FS	在 ±30 Oe 范围拟合		0.1	
失调电压温漂 V_{OT}/(mV/V/℃)	H = 0 Oe		±0.005	
灵敏度温度系数/(%/℃)			-0.1	
使用温度 T_A/℃		-40		125
频率响应 f_{OUT}/MHz		DC	20	

注：1Oe（Oersted）=1Gauss in air = 0.1millitesla = 79.8A/m。

八、差动式传感器

将两个相同传感器接成一正一反连接方式进行工作，在相同条件下，相同输入信号导致两个相同传感器分别输出大小相等、方向相反的信号，取两个信号的差值为输出信号，这就是差动传感器的工作原理。

1. 特点

结构简单、线性好、测量精度高、测量范围宽、灵敏度高、输出信号大、性能可靠。

2. 选用

（1）WYDC 系列高精度位移传感器　将直线移动的各种机械量转换成电量，如电压、电流，用于位移自动测量和自动控制。其外形见图 6-91，结构见图 6-92，尺寸见图 6-93。它广泛应用于机械、电力、发电厂、航空航天、冶金、煤炭、石油、铁路等行业的自动测控。传感元件为差动变压器，由三个螺纹线圈、移动铁心测杆、导磁外壳组成。位于中部的 W2 为励磁线圈，两端 W1、W3 线圈反向连接为差动信号线圈。当铁心位于中间位置时，输出信号为零；当铁心上下移动时输出一个与铁心位移呈线性关系的电信号，通过电路输出标准直流电压（电流），实现位移测量。其技术参数见表 6-65，外形尺寸见表 6-66。

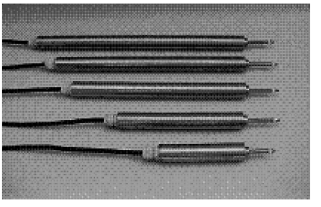


图 6-91　传感器的外形（34）

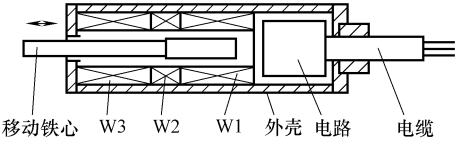


图 6-92　传感器的结构

1）主要特点：环境适应性好、使用寿命长、灵敏度和分辨率高。使用时只要将壳体夹固在参照物上，其测杆顶（或夹固）在被测点，就可直接测量物体，可与数显表配合使用。抗干扰能力强，可在潮湿、大电流或强磁场等恶劣环境下工作，适宜遥测。

2）注意事项：

① 传感器测杆应与被测物垂直接触。

② 不要让活动铁心和测杆承受较大的侧向力而造成变形弯曲；传感器不可敲打、跌落。

③ 避免所有引线在焊接处和电缆的夹固处断线。

④ 夹持传感器壳体时应避免松动，但也不可用力太大。

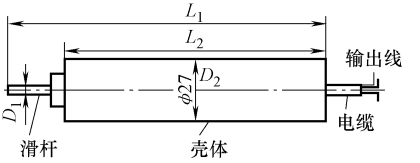


图 6-93　传感器的结构尺寸（27）

⑤ 安装传感器时应调节及挪动夹持位置，使位移变化不超出测量范围，即通过观测位移读数，使位移在预定变化内，信号输出不超出额定范围。

表 6-65　WYDC 系列高精度位移传感器技术参数

量程/mm	0 ~ 1 000mm
线性度/(%FS)	0.05/0.1/0.2/0.5
分辨率/(%FS)	0.01
供电电压/V	± 9 ~ ±18；+9 ~ +24
输出信号	0 ~ 5V/0 ~ ±5V/0 ~ 10mA 4 ~ 20mA /1 ~ 5VDC
温度系数/(%FS/℃)	0.01 ~ 0.03
噪声	<1mVrms、10mVpp
输出波纹/mA	<10(峰峰值)
	<1(峰峰值)
环境温度/℃	-10 ~ 60/ -35 ~ 80/ -50 ~ 120
测杆形式	弹簧复位/限位滑杆/自由滑杆
滑杆连接头	球测头/M3 × 10mm
防护等级	IP67

表 6-66　外形尺寸　　（单位：mm）

尺寸 / 量程	D_1	D_2	L_2	L_1	尺寸 / 量程	D_1	D_2	L_2	L_1
±1(0 ~ 2)	$\phi 5$	Φ 21 Φ 27	195	210	±75(0 ~ 150)	$\phi 6$	Φ 21 Φ 27	385	555
±2.5(0 ~ 5)			195	215	±100(0 ~ 200)			435	855
±5(0 ~ 10)			215	240	±125(0 ~ 250)			565	
±10(0 ~ 20)			265	300	±150(0 ~ 300)				
±20(0 ~ 40)	$\phi 6$		235	290	±200(0 ~ 400)			685	1 105
±35(0 ~ 70)			275	360	±250(0 ~ 500)			785	1 305
±50(0 ~ 100)			335	450	±500(0 ~ 1 000)	$\phi 8$		1450	2 470

注：电流输出时，输出与地线之间接 250Ω 精密电阻，进行 I/V 变换。L1 为滑杆拉出全量程的最大尺寸，滑杆连接螺纹 M3 × 10mm。

（2）CYDK—21 系列差压开关　以高精度差压传感器作为检测元件，用高稳定电路产生开关信号，实现压力连续测量和开关量控制。具有精度高、迟滞小、响应快、性能稳定可靠、体积小、易操作、安装简便灵活；单点可调，开关信号可靠；抗干扰强，长期稳定性好等特点。广泛用于化工、机械、水文、电力等行业气体液体的压力控制。其选型见图 6-94，外形见图 6-95，结构尺寸见图 6-96，型号见图 6-97，技术指标见表 6-67。

系列	代码1							类型
WYDC−	G							常用型
	H							超小型
		代码2						精度
		05						0.05%
		1						0.1%
		2						0.2%
		5						0.5%
			代码3					杠杆形式
			A					弹簧复位
			B					限位滑杆
			C					自由滑杆
				代码4				接口方式
				1				球测头
				2				螺纹M3×10mm
					代码5			供电电压
					24			DC24V
					12			±DC 12V
					01			其他
						代码6		输出方式
						2		模拟信号4～20mA
						4		模拟信号0～+5V
						6		约定的特殊要求
								量程0～1000mm

WYDC—	G	1	A	1	24	4～20mm

图 6-94　传感器选型

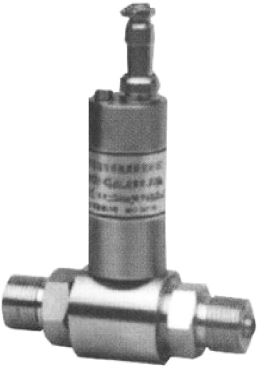


图 6-95　传感器的外形（35）

表 6-67　CYDK—1 系列差压开关技术指标

量程范围	0 ~ ±100、500 ~ 1 000kPa
	0 ~ 2 ~ 7MPa
过载压力	2 倍满量程
压力形式	差压
测量介质	与 316L 不锈钢兼容的气体、液体
输出信号	开关量信号
继电器负载	30V/5A DC　240V/3A AC
上下限设定范围	在满量程范围内继电器单开关点任意可调
供电电压/V	12 ~ 36(标定值为 +24)
精确度/(%FS)	±0.3、±0.5
长期稳定性/(%FS/年)	≤ ±0.3
介质温度/℃	−20 ~ +85
存储温度/℃	−40 ~ +125
响应时间/ms	≤1
负载电阻	$R=(U-12.5)/0.02-R_D$ 其中：U 为电源电压，R_D 为电缆内阻
寿命	$>1\times10^8$ 压力循环（25℃）
壳体材料	1Cr18Ni9Ti
压力接口	M20 × 1.5 或者用户自定
电气链接	赫斯曼接头
防爆等级	ExiaIICT6
防护等级	IP65

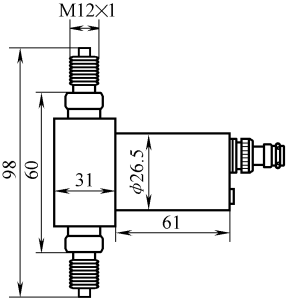


图 6-96　传感器的结构尺寸（28）

（3）PST-D 差压变送器　选用高精度、高稳定性传感器芯片，采用独特的应力隔离技术，经精密温度补偿及高稳定性放大处理，将被测介质的差压信号转换成 4 ~ 20mA、0 ~ 10mA 或 0 ~ 5VDC 输出。有多种接口和引线方式，

代　　码				说　　明
CYDK—21				单点调节差压开关
CYDK—23				两点调节差压开关
	FS			压力满量程
	J			精度
		DK		继电器输出
			M	螺纹安装
			H	电缆线长度

图 6-97　传感器型号

现场显示差压值，零点、量程连续可调。广泛用于炉膛压力、烟尘治理、风机、空调机等场所压力、流量的检测和控制。其外形见图 6-98，结构尺寸见图 6-99，安装方式见图 6-100，技术指标见表 6-68。

图 6-98　传感器的外形（36）

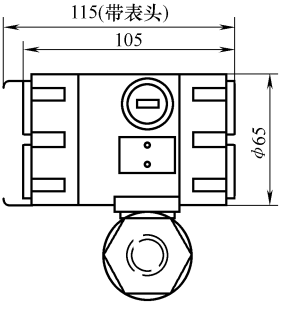
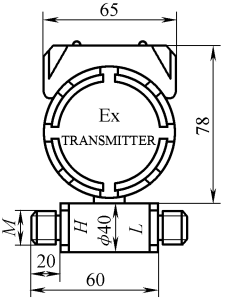


图 6-99　传感器的结构尺寸（29）



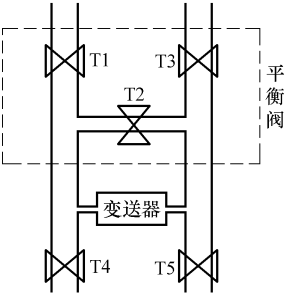


图 6-100　传感器安装方式

表 6-68　PST-D 差压变送器技术指标

产品描述	
外壳	不锈钢 1Cr18Ni9Ti
接线盒外壳	LY12
重量	约 1kg
膜片	不锈钢 316L
安装	ϕ8 宝塔头或标准螺纹安装
量程范围	0～0.2kPa～0.1MPa
电缆	聚乙烯
性能指标	
精度/(%FS)	±0.05、±0.1、±0.2、±0.5
长期稳定性	0～0.2kPa～1kPa，<±1%FS/年
	0～1.2kPa～5kPa，<±0.5≥%FS/年
	0～6kPa～100kPa，<±0.25≥%FS/年
	0～120kPa～0.1MPa，<±0.25≥%FS/年
响应时间/ms	≤1
使用环境参数	
测量介质	不导电、无腐蚀或弱腐蚀性气体
过电压	0～0.2kPa～1kPa,20 倍(满量程)
	0～1.2kPa～5kPa,5 倍(满量程)
	0～6kPa～100kPa,3 倍(满量程)
	0～120kPa～0.1MPa,2 倍(满量程)
工作温度/℃	-40～85
补偿温度/℃	-10～70
贮存温度/℃	-40～100
零点温度系数/(%FS)	±0.02(典型)～±0.04(最大)
满度温度系数/(%FS)	±0.02(典型)～±0.04(最大)
外壳防护等级	IP65

安装要求如下：

① 变送器压力接口端的宝塔头或标准螺纹可直接与被测现场的高、低压端连接，无须安装支架。

② 安装现场高低压口之间加装平衡阀，避免变送器单端受压造成过载损坏。先打开 T2，再顺序打开 T3/T1，待管道压力稳定后，关闭 T2 即可。图中 T4、T5 为泄放阀。

③ 变送器采用水平安装，倾斜或垂直安装有可能影响零点输出。

九、光电式传感器

它是一种将光通量转换为电量且基于光电效应的传感器。这种传感器受

到可见光照射后即产生光电效应，将光信号转换成电信号。光电效应是指光照射到某些物质上，使该物质导电特性发生变化的物理现象，可分为外光电、内光电和光生伏特效应。外光电效应是指在光线作用下，物体内电子逸出物体表面向外发射；内光电效应是指在光线作用下，物体导电性能发生变化；光生伏特效应是指在光线作用下，半导体材料产生一定方向电动势。

1. 特性

体积小、结构简单、精度高、可靠性高、反应快、测量方法灵活多样、可测参数众多、能实现非接触测量。

2. 选用

（1）圆柱型系列光电式接近开关　采用先进的 SMT 贴片工艺，可靠性高、响应速度快、分辨能力高；可调节距离、易于设置；体积小、重量轻、安装调试简单。有浪涌、短路和逆极性保护；外壳材料为黄铜镀镍；防护等级 IP67。其外形见图 6-101，结构尺寸见图 6-102，电气接线见图6-103。型号规格见表6-69，参数规格见表 6-70。

图 6-101　传感器的外形（37）

表 6-69　圆柱型系列光电式接近开关型号规格

NPN NO	PCBAB-D100NA-D3Y2
NPN NC	PCBAB-D100NB-D3Y2
NPN NO + NC	PCBAB-D100NC-D4Y2
PNP NO	PCBAB-D100PA-D3Y2
PNP NC	PCBAB-D100PB-D3Y2
PNP NO + NC	PCBAB-D100PC-D4Y2

表 6-70　圆柱型系列光电式接近开关参数规格

工作电压/V	10 ~ 30
感应方式	漫反射式
检测距离/mm	100
外形规格/mm	M12 × 1 × 60
输出方式	NPN/PNP NO/NC/NO + NC
标准探测物	不透明物体/半透明物体
标准对象	100mm × 100mm（白纸）
响应时间/ms	≤3

（续）

消耗电流/mA	≤20
负载电流/mA	200
电压降/V	≤1.8(200mA)
绝缘阻抗/MΩ	≥50(500VDC)
重复精度(%)	≤5
LED 显示	LED(红色)
灵敏度调节	可调
保护	浪涌、短路和逆极性保护
工作温度/℃	-10~55
温度漂移	< ±10%
防护等级	IP67
外壳材料	黄铜镀镍
接线方式	电缆线 2m,外径 ϕ4.0mm

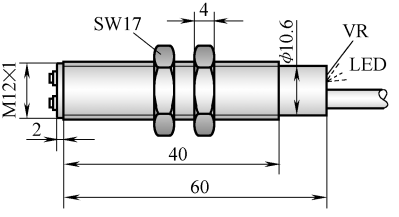


图 6-102　传感器的结构尺寸（30）

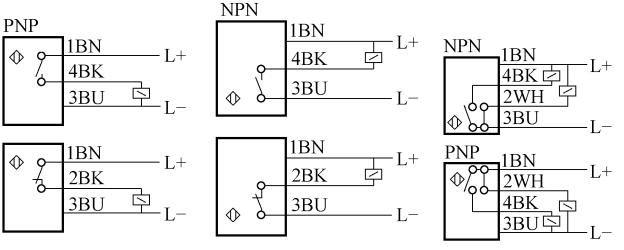


图 6-103　传感器电气接线

（2）M15—P 线性光敏传感器　输出随外界光线变化而改变；具有一定的温度稳定性；低暗电流、低工作照度；符合 RoHS 指令、无铅、无镉。其

外形见图 6-104，结构尺寸见图 6-105，最大额定值见表 6-71，光电特性表 6-72。

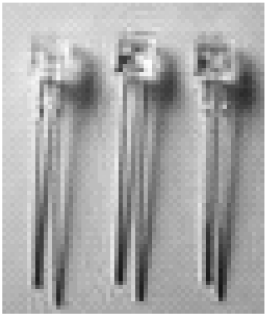


图 6-104　传感器的外形（38）

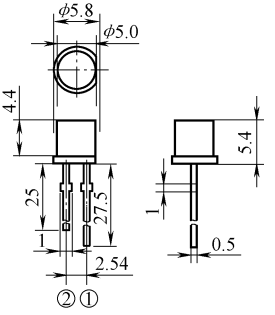


图 6-105　传感器的结构尺寸（31）

注：①—V_{DD}，②—V_{OUT}。

表 6-71　M15—P 线性光敏传感器最大额定值

（$T_A = 25℃$）

电气特性	符号	额定值
供电电压 V_{DD}/V		−0.5 ~ 7
输出电压 V_{OUT}/V		≤V_{DD}
最大功耗 P/mW		70
工作温度 T_{opr}/℃		−30 ~ +85
储存温度 T_{stg}/℃		−40 ~ +100
焊接温度(10s) T_{sol}/℃		260

表 6-72　M15—P 线性光敏传感器光电特性

（$T_A = 25℃$）

参数	符号	测试条件	最小	典型	最大
集电极光电流 I_c/μA		$V_{CE} = 5V, E_V = 10Lux$	40		70
集电极暗电流/I_{CEO}/nA		$V_{CE} = 5V, E_e = 0$			10
集电极-发射极饱和压降 $V_{CE(sat)}$/V		$I_c = 20mA, I_B = 100μA$			2.0
峰值波长 λ_p/nm				850	
光谱灵敏度 $\Delta\lambda$/nm			450 ~ 1 050		
半角度 $\Delta\theta$(°)				±60	
反应时间(上升) t_r/μs		$V_{CC} = 5V, I_c = 1mA$ $R_L = 1k\Omega$		15	
反应时间(下降) T_f/μs				15	

（3）LXD 4 526金属壳玻璃封装光敏电阻　用半导体材料制作，利用内光电效应工作的光电元件。在光线的作用下阻值变小，采用特殊光学透镜以及金属材料真空封装技术，广泛应用在高温、潮湿等极端恶劣环境。其外形见图 6-106，结构尺寸见图 6-107，应用电路见图 6-108。技术参数见表 6-73。环氧树脂封装、反应速度快、体积小、灵敏度高、可靠性高、光谱特性好。

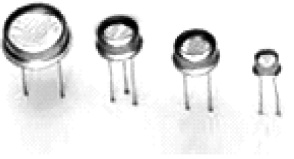


图 6-106　传感器的外形（39）

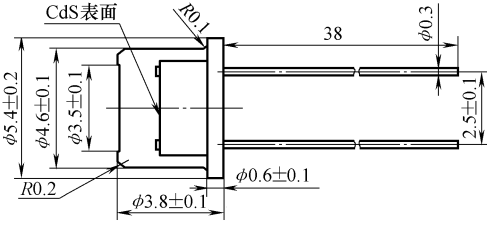


图 6-107　传感器的结构尺寸（32）

表 6-73　技术参数

名　称		参　数
亮电阻(10lx)		8 ~ 20
暗电阻(0lx)/kΩ		0. 5
伽马值(100 ~ 10lx)		0. 6
最大功耗(25℃)/mW		50
最大电压(25℃)/V		150
光谱峰值(25℃)/nm		540
环境温度/℃		－30 ~ ＋70
响应时间/ms	上升	30
	下降	30

十、霍尔式传感器

它是一种基于霍尔效应的传感器，广泛用于测量磁场、电流、位移、压

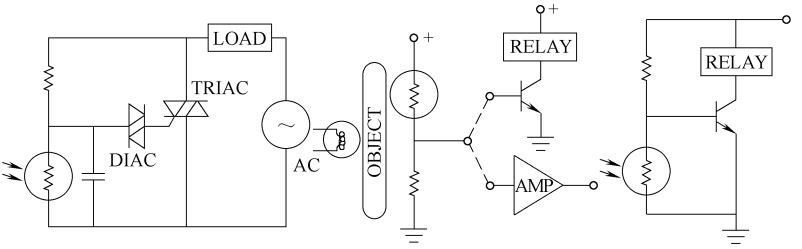


图 6-108　传感器应用电路

力、振动、转速、加速度等测量。其工作原理是，在金属或半导体薄片两端通电流 I，并在薄片垂直方向上加磁感应强度为 B 的磁场，则在垂直于电流和磁场方向上产生电动势 U_H，即霍尔电动势或霍尔电压。金属或半导体薄片称为霍尔元件，如图 6-109 所示。

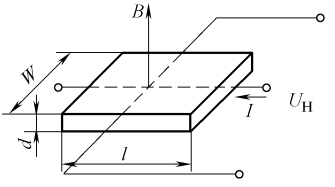


图 6-109　传感器工作原理

$$U_H = \frac{R_H IB}{d} \tag{6-12}$$

式中　R_H——霍尔常数，它与半导体材质有关；

I——控制电流；

B——磁感应强度；

d——半导体材料的厚度。

令 $K_H = R_H/d$，则 $U_H = K_H IB$，K_H 称为霍尔传感器的灵敏度，与霍尔元件材料、几何尺寸有关。

1. 特性

体积小、重量轻、寿命长、集成化、价格低、结构简单、功耗小、频率高、频响宽、动态范围大、耐振动、外围电路简单、使用方便、非接触测量。

2. 选用

（1）H-JK 系列霍尔接近开关　根据霍尔效应原理制成，采用圆管形防水设计，符合 IEC144 标准。广泛用于轻工、化工、纺织、印刷、机械、冶

金、电信、交通、自控等领域。其按工作状态分为 JK 常开型、JB 常闭型、JZ 自锁型三类。其外形见图 6-110，技术参数见表 6-74，电气接线见图 6-111，结构尺寸见图 6-112，触发方式见图 6-113。

图 6-110　传感器的外形（40）

表 6-74　H-JK 系列霍尔接近开关技术参数

型号 / 参数	JK JB JZ								
	5002C	8002C	5002D	8002D	5020D	8020D	5050D	8050D	8100D
电源电压/V	5～24		8～30						
负载电流/mA	20				200		500		1 000
工作距离/mm	5～7	8～11	5～7	8～11	5～7	8～11	5～7	8～11	8～11
输出低电平/V	≤ 0.4				≤0.5		≤1.0		
响应频率/kHz	100				50				
定位精度/mm	0.02								
指示灯	N/Y		Y	Y	Y				
极性和浪涌保护	N	N							
过热保护	Y	Y							
输出方式	NPN		NPN/PNP						
工作温度/℃	Ⅰ －40～＋125　Ⅱ －25～＋85								

（2）A-CS 2 000EK2T 系列霍尔可拆交流电流传感器　应用霍尔效应的电流传感器，能在电隔离条件下测量交流信号电流，输出和被测电流有效值成正比。其外形见图 6-114，结构尺寸见图 6-115，外部接线见图 6-116，技术参数见表 6-75。

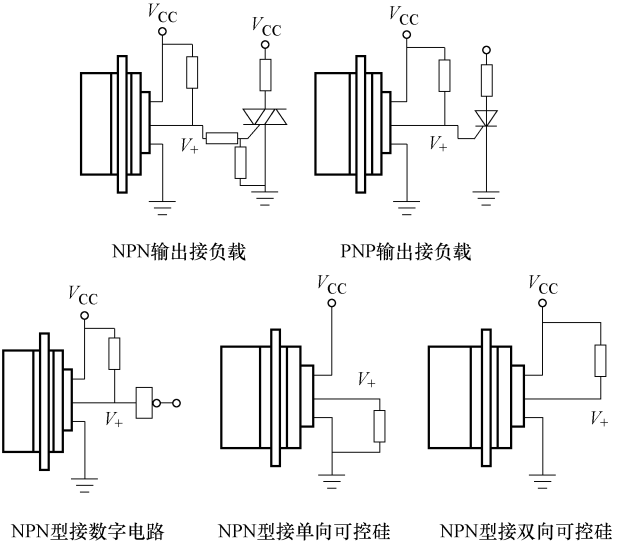


图 6-111　传感器电气接线

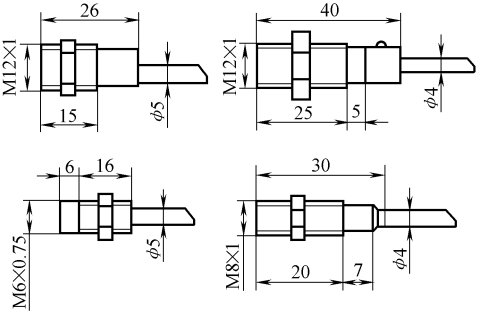


图 6-112　传感器的结构尺寸（33）

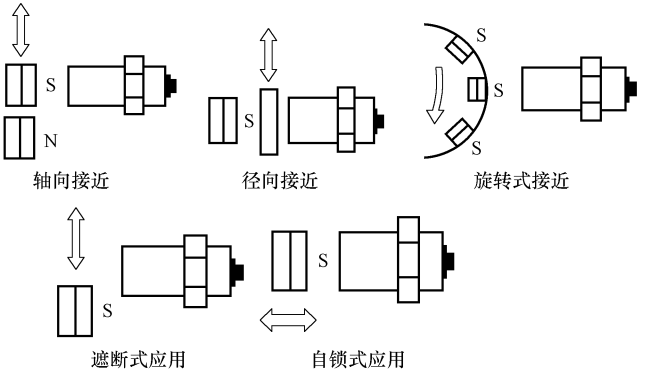


图 6-113　传感器触发方式

图 6-114　传感器的外形（41）

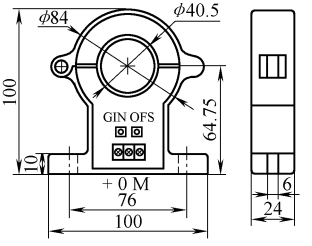


图 6-115　传感器的结构尺寸（34）

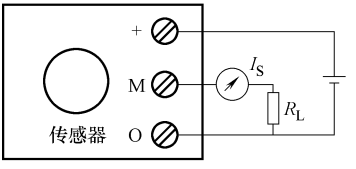


图 6-116　传感器外部接线

注：+ 为正电源；0 为电源地；M 为电流输出。

表 6-75　A-CS 2 000EK2T 系列霍尔可拆交流电流传感器技术参数

型号 / 参数	A-CS200EK2T	A-CS500EK2T	A-CS 1000EK2T	A-CS 1500EK2T	A-CS 2000EK2T
额定输入电流 I_{PN}/A(rms)	200(AC)	500(AC)	1 000 (AC)	1 500 (AC)	2 000(AC)
测量电流范围 I_P/A(rms)	0 ~ 400 (AC)	0 ~ 1 000 (AC)	0 ~ 2 000 (AC)	0 ~ 3 000(AC)	0 ~ 3 000 (AC)
二次侧输出电流 I_S/mA	4 ~ 20				
负载电阻 R_L/Ω	80 ~ 450				
电源电压 V_C/V	24 ± 1. 2				
线性度 ε_L/(% FS)	< 1				
精度 X_G/(% FS)	T_A = 25℃时为 ± 0. 5				
失调电流漂移 I_{OT}/(mA/℃)	I_P = 0 且 T_A = − 25 ~ + 85℃时 < 0. 005				
响应时间 T_r/ms	≤ 20				
响应频率 f/Hz	20 ~ 20 000				
绝缘电压 V_d	在一次电路与二次电路之间 5kV 有效值/50Hz/1min				
工作环境温度 T_A/℃	− 25 ~ + 85				
贮存环境温度 T_S/℃	− 40 ~ + 100				
内部保护	极性保护				

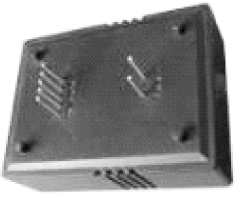


图 6-117　传感器的外形（42）

（3）SM600D 系列霍尔交流电压传感器　应用霍尔效应闭环原理，能在电隔离条件下测量交流信号的电压。其外形见图 6-117，结构尺寸见图 6-118，外部接线见图 6-119，技术参数见表 6-76。

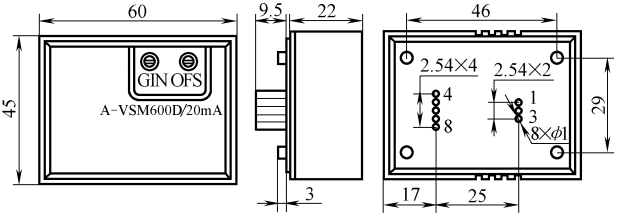


图 6-118　传感器的结构尺寸（35）

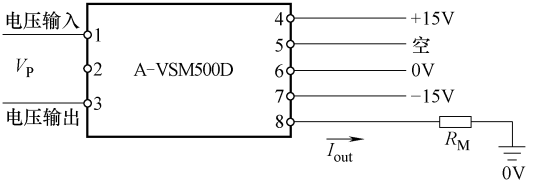


图 6-119　传感器外部接线

表 6-76　SM600D 系列霍尔交流电压传感器参数

型号 / 参数	A-VSM 050D	A-VSM 100D	A-VSM 200D	A-VSM 300D	A-VSM 400D	A-VSM 500D	A-VSM 600D
一次侧额定输入电压 V_{PN}/V(rms)	50(AC)	100(AC)	200(AC)	300(AC)	400(AC)	500(AC)	600(AC)
二次电压测量范围 V_P/V(rms)	0～100 (AC)	0～200 (AC)	0～400 (AC)	0～600 (AC)	0～800 (AC)	0～800 (AC)	0～800 (AC)
二次侧额定输出电流 I_{SN}/mA	20(DC)						
匝数比 K_N	3 000:1 200						
测量电阻 R_M/Ω	V_C = ±15V 54～360						
电源电压 V_C/V	±12～±15(±5%)						
绝缘电压 V_d	在一次与二次电路之间 2.5kV 有效值/50Hz/1min						
线性度 ε_L/(%FS)	<0.2						
精度 X(%FS)	T_A = 25℃且 V_C = ±15V 时为 ±0.8						
零点失调电流 I_0mA	T_A = 25℃时为 < ±0.2						

（续）

型号 / 参数	A-VSM 050D	A-VSM 100D	A-VSM 200D	A-VSM 300D	A-VSM 400D	A-VSM 500D	A-VSM 600D
失调电流温漂 I_{OT}/（mA/℃）	$V_P=0$ 且 $T_A=-25\sim+85$℃时为 ±0.1 ~ ±0.5						
响应时间 T_r/ms	<20						
工作环境温度 T_A/℃	−25 ~ +85						
贮存环境温度 T_S/℃	−40 ~ +100						
输入内阻 R_p/kΩ	20	40	80	120	160	200	240
标准	Q/3201CHGL02—2007						

十一、气敏式传感器

这种传感器基于声表面波器件波速和频率随外界环境的变化发生漂移的工作原理。将检测气体的类别、成分、和浓度转化为电信号。它包括半导体气敏、接触燃烧式气敏和电化学气敏传感器等。

声表面波器件的波速和频率随外界环境的变化而发生漂移，气敏传感器利用此性能在压电晶体表面涂覆一层选择性吸附某气体的气敏薄膜，当气敏薄膜与待测气体相互作用，使膜层质量和电导率发生变化时，引起压电晶体声表面波频率发生漂移；气体浓度不同，膜层质量和电导率变化程度不同，引起声表面波频率的变化。测量声表面波频率变化，可准确反映气体浓度。

1. 特性

对被测气体灵敏度高；对被测气体以外的共存气体或物质不敏感；性能稳定，重复性好；动态特性好，对检测信号响应迅速；寿命长；制造成本低，使用与维护方便等。

2. 选用

（1）DH4—HCHO—5 电化学气体传感器　根据电化学原理，利用 HCHO 在电解池工作电极上发生氧化反应，在对电极上发生还原反应，产生感应电流，感应电流与浓度成正比，从而确定待测气体浓度。采用三电极结构，参考电极可稳定感应电极电动势，且参考电极无电流通过，保持各自电压的稳定。测量范围广、低功耗、高精度、高灵敏度、线性范围宽、重复性和稳定性优。其技术参数见表 6-77，命名规则见图 6-120，结构尺寸见图 6-121。

表 6-77　DH4—HCH0—5 电化学气体传感器技术参数

原理	三电极电化学传感器	响应时间/s	≤80
量程/ $\times 10^{-6}$	0 ~ 5	零点漂移(-20 ~ 40℃)/ $\times 10^{-6}$	<0.2
最大过载/ $\times 10^{-6}$	50	稳定性/(%/月)	<1%
使用寿命/年	3	负载电阻/Ω	10
灵敏度/(μA/1 $\times 10^{-6}$)	1.2 ±0.3	重复性	2% 输出值
温度范围/℃	-20 ~ 50	输出线性度	线性
压力范围/kPa	90 ~ 110	偏置电压	不需要
湿度范围	15% ~90% RH (无凝露)		

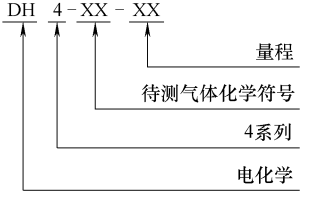


图 6-120　传感器命名规则

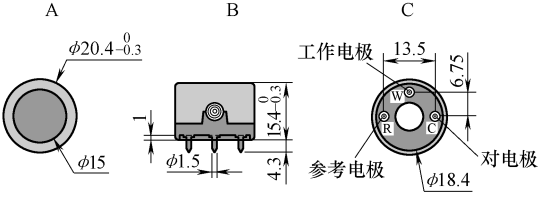


图 6-121　传感器的结构尺寸（36）

（2）CR-101 系列载体催化元件　采用一对黑白元件和相对应外接电阻组成惠斯顿电桥实现。当有可燃气体进入催化元件后，气体会在黑元件发生化学反应，释放的热量导致黑元件电阻值发生变化，白元件因没有负载催化剂不发生化学反应，温度及电阻值维持不变，电桥失去平衡外电路有电压输出，通过检测该电压可检测气体。具有检测精度高；抗振性能优良；重复性和选择性好；抗有机硅中毒；抗硫化物气体中毒等特点。其外形见图6-122，命名规则见图 6-123，结构尺寸见图 6-124，技术参数见表 6-78。

表 6-78　CR—101 系列载体催化元件技术参数

项目	技术参数		恢复时间(90%)/s	<30
原理	催化燃烧		抗中毒性	抗硫化氢及有机硅中毒
工作电压	2.5±0.1 V d.c		最大灵敏度漂移/(%/月)	<3
工作电流/mA	95±10		最大零点漂移	<4% $LEL_{甲烷}$/月
灵敏度	1% 甲烷	15~25mV	使用环境	-40℃~50℃低于95% RH
线性度	≤3% CH4		储存环境	-20℃~50℃低于95% RH
检测范围	0~100% LEL		外观尺寸	ϕ20mm×20.9mm
响应时间(90%)/s	<15			

图 6-122　传感器的外形（43）

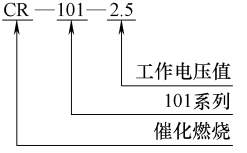


图 6-123　传感器命名规则

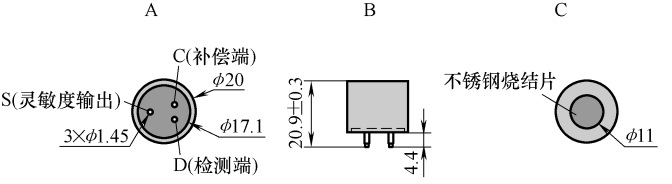


图 6-124　传感器的结构尺寸（37）

（3）KG 系列燃料电池型传感器　集气体分离和气体检测为一体，用高精度 A-D 采样与转换，实时连续监测目标环境中特定气体浓度。采用无源器件，无须外部激发，无中毒、电解质泄漏等现象；性能稳定，响应速度快，测量范围宽；设计寿命大于 10 年。其外形见图 6-125，命名规则见图 6-126，结构尺寸见图 6-127，技术参数见表 6-79。

图 6-125　传感器的外形（44）

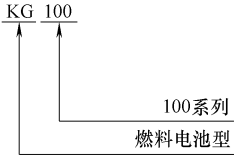


图 6-126　传感器命名规则

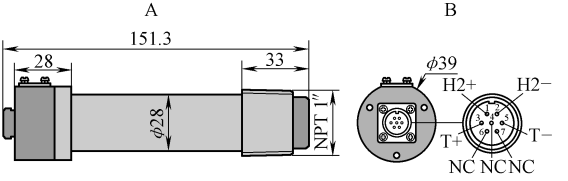


图 6-127　传感器的结构尺寸（38）

表 6-79　KG 系列燃料电池型传感器技术参数

项目	技术参数	
产品型号	KG100A	KG100B
检测气体	H_2、CO、C_2H_2 和 C_2H_4 四种气体的复合读数	选择性 H_2
检测范围/(μL/L)	0 ~ 5 000	
检测精度	±10% 或 ±20μL/L 取大者	
响应时间(80% 阶跃)/min	≤10	
探头处压力	允许从 0.7MPa 正压至绝对真空负压	
工作温度/℃	−40 ~ 80	
材料	黄铜(用户可选配不锈钢材料)	

十二、红外线传感器

这是一种利用红外线物理性质进行测量的传感器。任何物质只要本身温度高于绝对零度都会向外辐射红外线。红外线传感器由光学系统、检测元件和转换电路组成。光学系统分为透射式和反射式。检测元件分为热敏检测和光敏检测元件。热敏元件是热敏电阻。热敏电阻受到红外线辐射时温度升高，电阻发生变化，通过转换电路变换成电信号输出。光敏检测元件通常由硫化铅、硒化铅、砷化铟、砷化锑、碲镉汞三元合金、锗及硅掺杂等材料制成。

1. 特性

测量时不与被测物体直接接触，不存在摩擦，灵敏度高、响应快。

2. 选用

（1）HE-155A 红外温度传感器　采用一体化集成结构，传感器、光学系统与电子电路共同集成在金属壳体内，同时还有各型选件如吹扫保护套、90°可调安装支架、三维可调安装支架、数字显示表等，满足工况要求，应用范围广。测量范围宽；易于安装；探头带 LCD 温度值显示；具备信号短路和电源反接保护；可选配二次仪表；配置温控仪可以实现生产的温度控制。其外形见图 6-128，光路见图 6-129，技术参数见表 6-80。

图 6-128　传感器的外形（45）

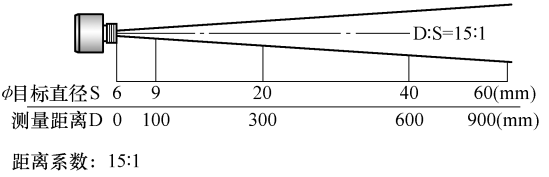


图 6-129　传感器光路

表 6-80　HE-155A 红外温度传感器技术参数

测量范围/℃	0 ~ 500	功能	可扩展上下限报警，RS232 或 RS485 输出，无纸记录数据，可与 PC 联机，配套软件实时显示及记录
测量精度	±1% 或 ±1℃	工作波段/μm	8 ~ 14
重复精度	±0.5% 或 ±0.5℃	输出方式/mA	4 ~ 20
距离系数	15:1	最大负载/Ω	600
显示分辨率/℃	0.1	环境等级	IP65
发射率	固定 0.95，出厂时可定制	环境温度/℃	0 ~ 60
响应时间/ms	500	相对湿度	10% ~95%，不结露
瞄准方式	无（可加激光辅助瞄准）	电源/V	24
电缆长度/m	1.8（标准）		

（2）HE-160 红外热像仪　USB 接口摄像式热像仪，应用于研发、材料分析和故障检修等。热灵敏性可显示被检测对象极好的温度细节。结合专门软件和设备应用更为广，如用于医疗的筛查、塑料产品加工、玻璃生产、材料热处理及材料涂层等。其外形见图 6-130，外形尺寸见图 6-131，技术参数见表 6-81。

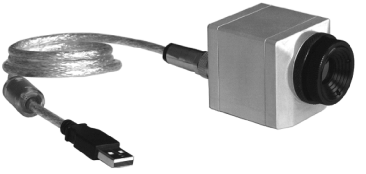


图 6-130　传感器的外形（46）

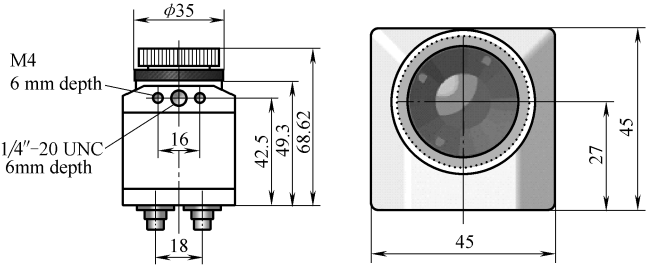


图 6-131　传感器的结构尺寸（39）

表 6-81　HE-160 红外热像仪技术参数

基本参数		测量参数	
环境等级	IP67	温度量程	－20～900℃
环境温度/℃	0～50		（－20～100℃/0～250℃/150～900℃可切换）
存储温度/℃	－40～70	探测器	焦平面非制冷探测器 25×25μm²
相对湿度	20%～80%不结露	热灵敏度	0.08K（23°×17°FOV/F＝0.7）
冲击	25G，IEC68～2～29		0.3K（6°×5°FOV/F＝1.6）
			0.1K（48°×37°FOV/F＝1）
震动	2G，IEC68～2～6	帧频	120Hz
重量	250g（包括镜头）	光谱响应	7.5～13μm
尺寸	45mm×45mm×62mm	光学分辨率	160×120 像素
电参数		系统精度	±2%或±2℃
输出	USB 2.0	显示分辨率	0.1℃
供电	USB 供电	视场角	23°×17°FOV/F＝10mm
接口（电隔离）	0～10V 输出		6°×5°FOV/F＝35.5mm
	0～10V 输入		48°×37°FOV/F＝4.5mm
	触发输入	测量模式	十字坐标灵活取点
电缆长度	1m、5m 或 20m USB 电缆		自动显示选定区域最大/最小/平均值
三脚架	1/4～20UNC	色板	铁灰　彩虹　黑白　黑白反向
		设置控制（通过软件）	测量模式 全自动 手动色板，发射率
			文件管理，日期时间，℃/℉，语言
		发射率	0.1～1.00可调

（3）矿用热释电传感器　利用人体发射的红外线，通过菲涅尔滤光片增强后聚集到红外感应源。红外感应源采用热释电元件，接收到人体信号后向外释放电荷，由传感器进行电信号检测、放大处理后传输给主控箱控制器。可探测人体信号，将信号转换成电平信号，对人体在某区域或某地点信号采集传输，是人体信号控制设备的配套传感设备。具有体积小、结构紧凑、探测灵敏度高、安装简便等特点。其外形见图 6-132。技术参数见表 6-82。

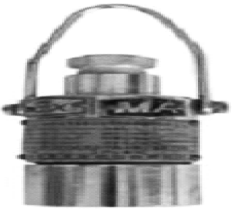


图 6-132　传感器的外形（47）

表 6-82　矿用热释电传感器技术参数

工作电压/V	9 ~ 12
工作电流/mA	≤100
最高输入电压/V	12. 2
最大输入电流/mA	310
输入信号	人体释放的有特定波长的红外光
输出信号	有接收人体红外信号时输出时:3V≤高电平≤12V 无接收人体红外信号时输出时:0V≤低电平≤1V
感知距离/m	≤8
最大内部电感 L_i/mH	0
最大内部电容 C_i/μF	4. 7

第七章　可编程序控制器

可编程序控制器（PLC）可用于逻辑顺控、过程控制、通信与远程控制等，而且能够构成控制网络。其输入/输出直接与外部连接。编程方法指令表、梯形图、顺序功能图、结构文本、逻辑图等。具有运动控制型、安全型，以及有适合高温或低温、凝露结冰或95%湿度环境等机型。国内常用品牌有20多种，如三菱、西门子、欧姆龙等。

按输入/输出点划分，有小型机、中型机、大型机等；按结构划分，有整体式，电源、CPU、内存、I/O整体集成，小型机多为此结构；模块式，CPU、输入、输出、电源、高速计数、中断、通信等模块安装在基板上，中大型多为此结构。

PLC的工作电源为DC 24V、AC 220/110V，范围为AC 65～264V。

第一节　可编程序控制器的组成与原理

一、组成和功能

1. 组成

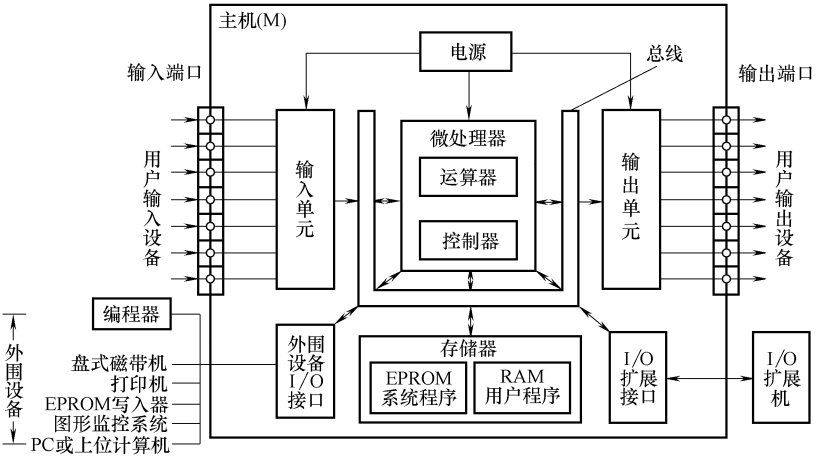


图7-1　PLC基本结构

PLC 的基本组成见图 7-1 ~ 图 7-3，包括 CPU、RAM、ROM 和 I/O 接口电路等。其外部开关量、模拟量等经输入端子到内部寄存器中，PLC 内部运算后送输出端子，实现控制功能。

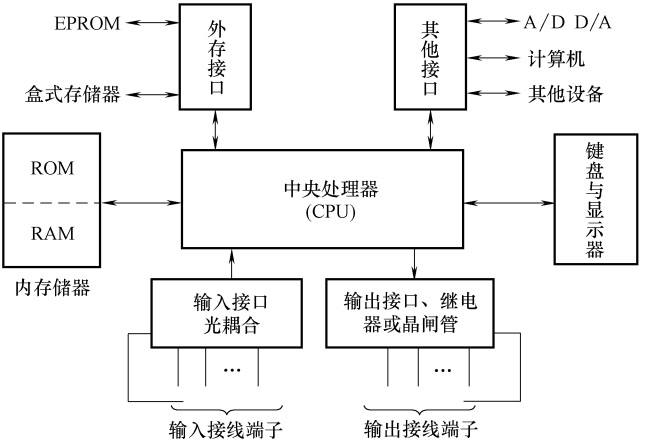


图 7-2　PLC 逻辑结构

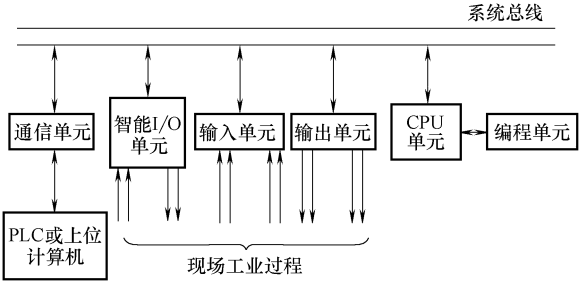


图 7-3　组合式 PLC 逻辑功能

2. 功能

① CPU。PLC 的核心是单片机，输入信号送至 PLC 存储；按存储顺序取出用户指令并加以编译；完成用户指令操作；最后将结果送输出端，响应外部设备相关请求。

② 存储器。用于存储系统程序、用户程序、逻辑变量等，有 RAM 和 ROM，RAM 随时由 CPU 读、写，暂存数据、中间结果及用户程序，防断电丢失用户程序；ROM 存储监控程序及系统数据。

③ 输入/输出模块。与外部设备传递信息，输入模块将外部信号转成 CPU 能接收的信号；输出模块将 CPU 运算结果输出；典型输入模块见图 7-4 ~ 图 7-5；典型输出模块见图 7-6 ~ 图 7-8。

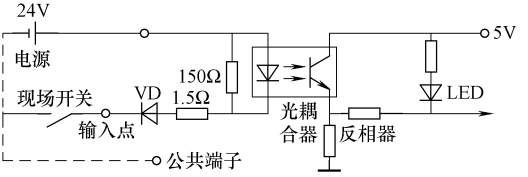


图 7-4　直流输入模块

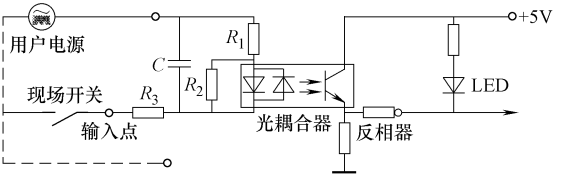


图 7-5　交流/直流输入模块

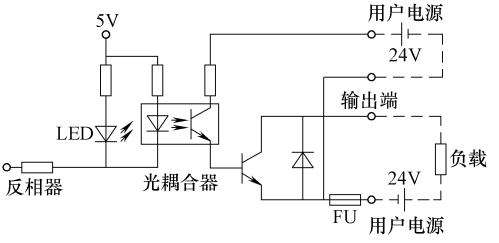


图 7-6　直流输出模块

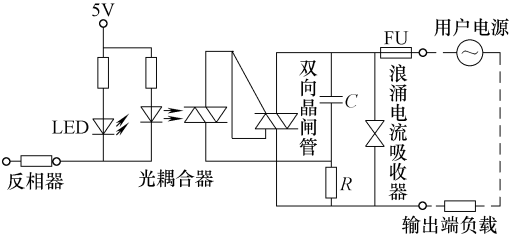


图 7-7　交流输出模块

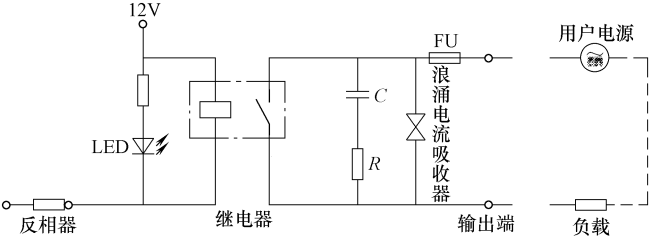


图 7-8　交流/直流输出模块

a. 开关量 I/O 模块接线：汇点式输入接线见图 7-9，独点式输入接线见图 7-10。

b. 输出模块接线：汇点式输出接线见图 7-11，独点式输出接线见图 7-12。

c. 输入/输出模块外部接线：见图 7-13。

d. 模拟量 I/O 模块接线：输入模块接线见图 7-14，输出模块接线见图7-15。

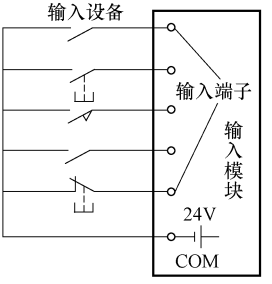


图 7-9　汇点式输入接线

e. I/O 电路：如图 7-16 所示为输入/输出端光耦合电路；图 7-17 所示输出电路有继电器、晶闸管和晶体管输出方式。

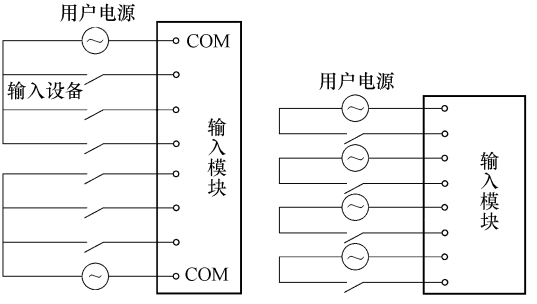


图 7-10　独点式输入接线

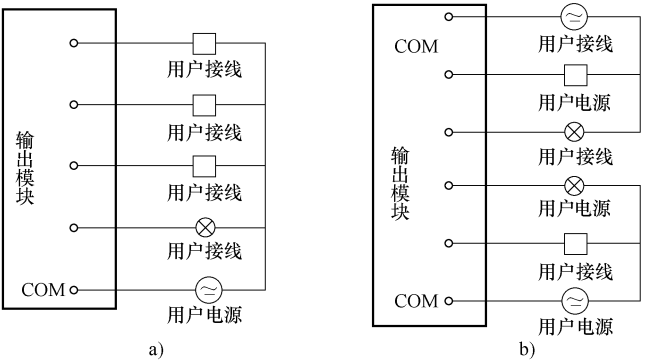


图 7-11　汇点式输出接线

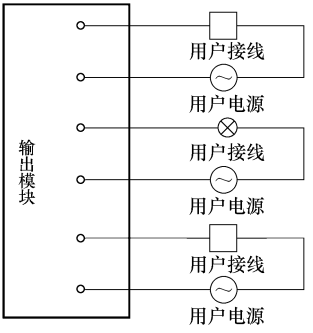


图 7-12　独点式输出接线

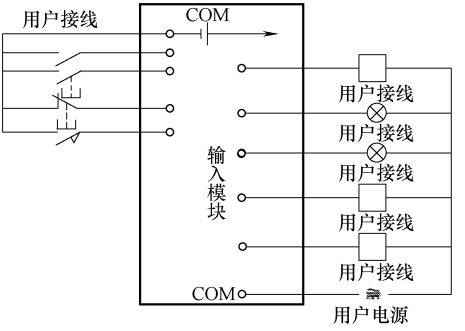


图 7-13　输入/输出模块外部接线

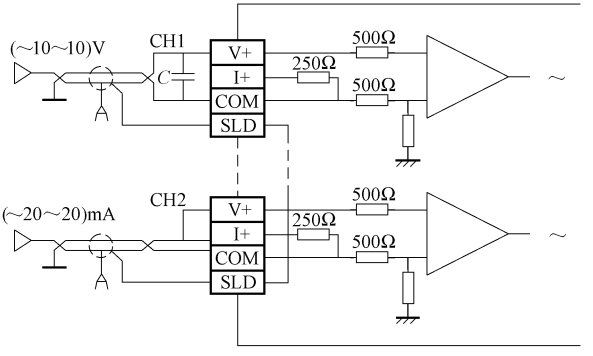


图 7-14　模拟量输入模块接线

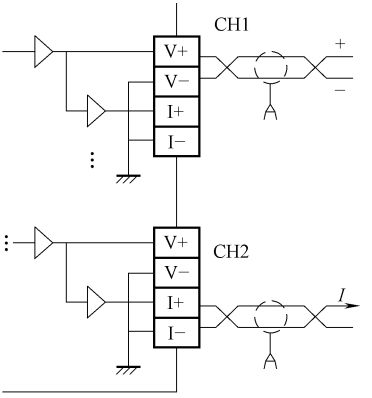


图 7-15　模拟量输出模块接线

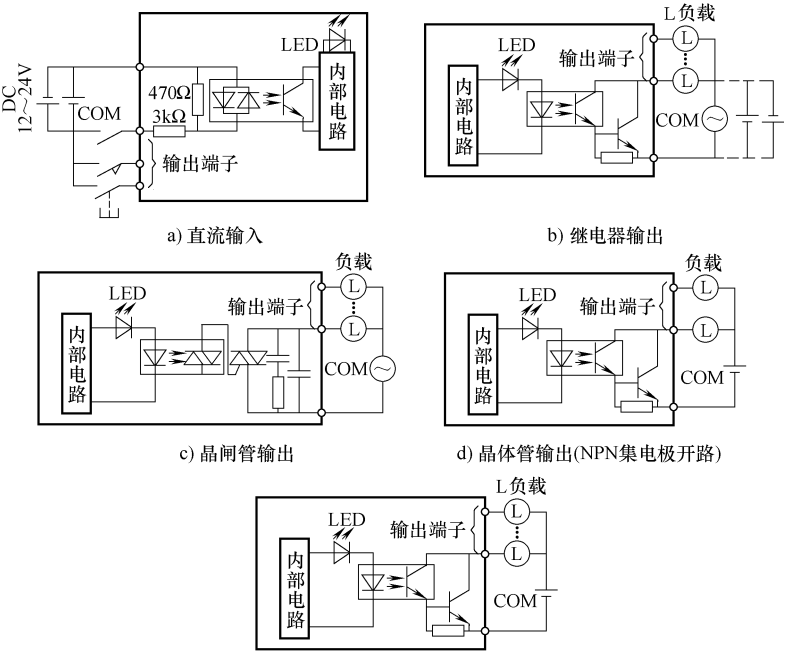


图 7-16　常用的 I/O 电路

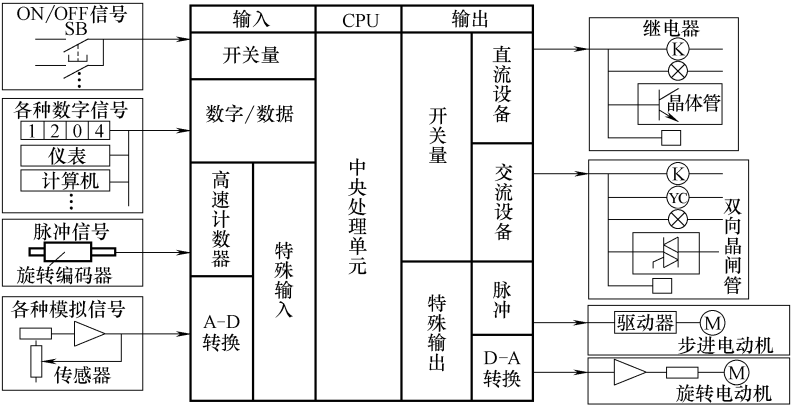


图 7-17　实际工程应用中的 I/O 连接

f. 扩展：基本单元 I/O 点数可扩展，基本单元用扩展电缆与扩展单元相连；A-D、D-A 模块也与主机单元直接相接。

二、工作原理

1. I/O 映像区

PLC 将输入信号存储到输入映像区；运算结果存储到输出映像区，运算后输出。

2. 工作方式

PLC 采取周期顺序方式对系统内部进行查询、判断和执行，循环顺序扫描，1 个扫描过程的时间为扫描周期。如图 7-18 所示，PLC 得电后系统初始化、完成状态清零等操作；每个扫描周期都进入 CPU 自诊断阶段，对电源、

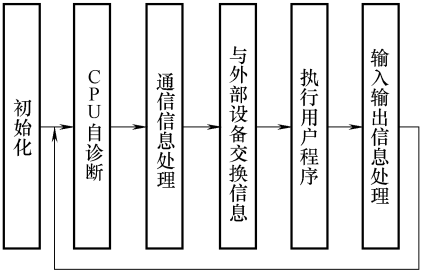


图 7-18　PLC 工作过程

内部电路、用户程序语法检查；定期复位等；每个通信信息处理阶段，PLC 间及 PLC 与计算机间均进行信息交换。

3. 用户程序循环扫描

如图 7-19 所示，每个扫描周期与外部设备（编程器、终端设备、图形显示器、打印机等）交换信息、执行用户程序按顺序扫描处理、运算结果存输出映像区、处理输入输出信息状态，以扫描方式将信号状态存储到输入映像区；将运算结果存储到输出映像区传送到外部被控设备。

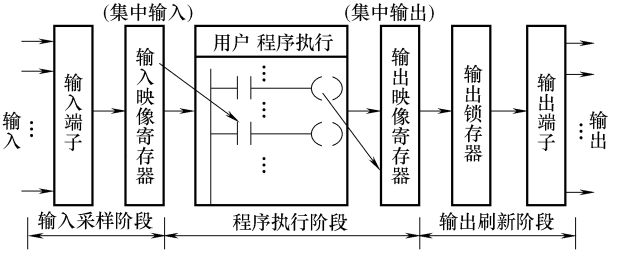


图 7-19　用户程序工作过程

① 输入采样。扫描周期内现场信息输入 PLC，以扫描方式顺序读取输入端状态，存储到输入映像区，采用集中采样方式，输入映像区信息供用户程序执行时用。

② 程序执行。按左→右、上→下逐句扫描；如有跳转、中断、调用子程序等，按指令条件执行；在具体的跳转、中断、子程序内，仍按左→右、上→下顺序执行，中断、子程序执行完后，自动返回相应地址；跳转时不扫描被跳转的程序段。

③ 输出刷新。所有指令执行完后输出，CPU 将输出映像区中的数据集中转存到输出锁存器，再送到输出端子驱动负载，采用集中输出方式。

4. 输入/输出的滞后性

（1）输入/输出延迟 循环扫描方式对信息串行处理，输入与输出间会产生几十毫秒滞后，一般不影响实际控制，但对响应时间小于 1 个扫描周期的系统，需要采用智能单元或专门指令。

（2）响应时间　输入电路滤波滞后，可用指令调整；循环扫描，集中批处理，产生滞后，编程时可将线圈在前、触点在后；输出继电器滞后约 10ms，晶体管或晶闸管滞后时间少于 1ms。

扫描周期与程序长短、指令执行时间有关。指令执行与指令类型和 CPU

主频有关，一般 PLC 扫描周期均小于 100ms。

5. 编程语言

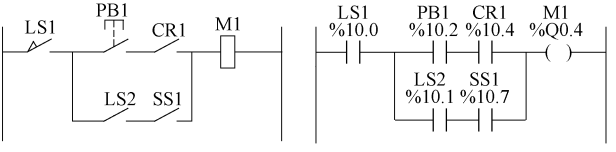
PLC 可采用多种程序语言，但各品牌之间编程语言不能通用。对于同品牌 PLC，不同系列产品的程序可以实现便捷转换。

（1）指令表　即助记符或列表。表 7-1 为欧姆龙、三菱、西门子三种 PLC 助记符语言程序比较。

表 7-1　三种 PLC 助记符语言程序比较

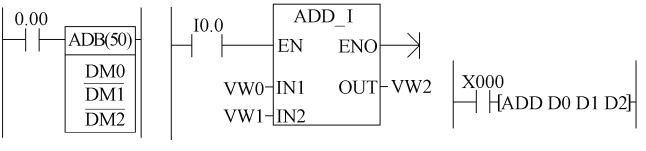
地　址	欧姆龙	三　菱	西　门　子
0	LD 000. 00	LD X000	LD I0. 0
1	OR 010. 00	OR Y000	0 Q0. 0
2	AND NOT 000. 01	ANI X001	AN I0. 1
3	OUT 010. 00	OUT Y000	= Q0. 0
4	END	END	

（2）梯形图　梯形图是将线圈、继电器、触点等用连接线连起来表达彼此间电气联系。电气原理图可直接转换成梯形图，见图 7-20。图 7-21 是三种产品的梯形图，但其功能是相同的。



a) 电气原理图　　b) 梯形图

图 7-20　电气原理图与梯形图对比



a) 欧姆龙PLC　　b) 西门子PLC　　c) 三菱PLC

图 7-21　三种 PLC 功能指令加的实现对比

（3）功能块　逻辑电路有输入/输出端。图 7-22 中有 2 个功能块，OR 与 AND，前者的输出即为后者的输入。

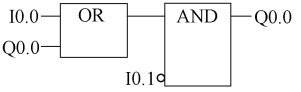


图 7-22　西门子功能块图

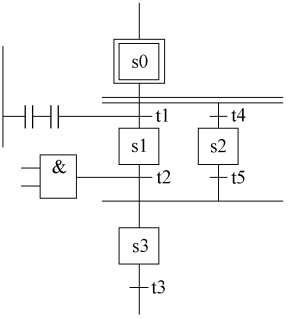


图 7-23　顺序功能图

（4）结构文本　文本采用高级语言，用语句描述系统变量之间的关系。

（5）顺序功能图 SFC　将控制流程分“步”、“转换条件”，每步 1 个“方框”，对应 1 个控制任务；转换条件用 1 根横线表示，可多种转移条件。有单一顺控、选择分支、并行分支、循环顺控等。转换条件有时间、位置、计数或逻辑关系的综合等，见图 7-23。

（6）高级语言编程　新推出的 PLC 或大型 PLC，可用高级语言。

6. 梯形图编程规则

① 顺序。与每个线圈相连的支路是 1 个逻辑行，起于左母线，线圈在行右端，见图 7-24。

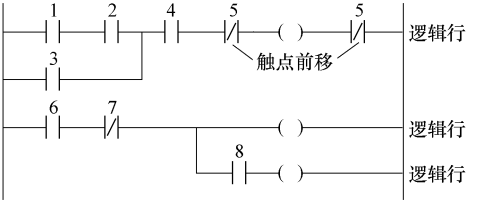
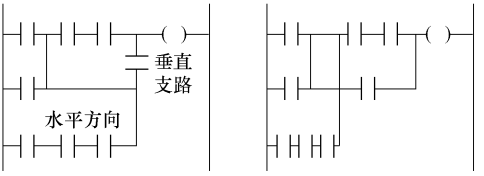


图 7-24　梯形图规则（1）

② 触点水平布置。不能垂直布置（三菱 MC 触点除外），见图 7-25；梯形图中的触点不允许有双向信息流通过，见图 7-26。

③ 触点位置。几条支路并联时，多个串联触点在前面；支路块串联时，并联触点多的支路块安排在左面，见图 7-27。



a) 不正确　　b) 正确

图 7-25　梯形图规则（2）

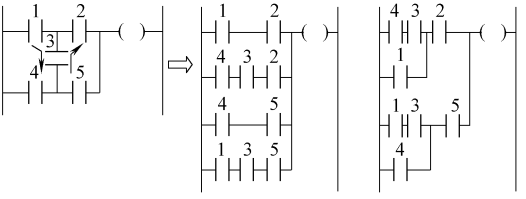
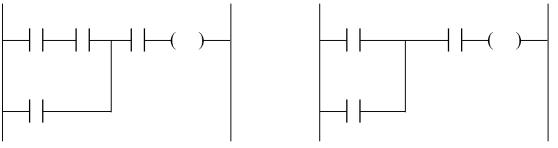


图 7-26　梯形图的变化



a) 多触点串联在前　　b) 多触点并联在左面

图 7-27　梯形图规则（3）

④ 同一个扫描段中，不允许有双线圈。但跳转不同扫描段中，STL“步”与“步”间可用相同线圈。

⑤ 串/并联触点及并联线圈个数。不同品牌 PLC 规定不同，必须符合产品说明书要求。

⑥ 输入触点。按钮、行程开关、热继电器等接入 PLC 时，用常开触点便于读取程序。

⑦ 所有输出必须通过输出继电器驱动负载；线圈不能直接接在左母线上，必须通过触点。

⑧ 对三菱 FX 系列 C235 ~ C255 对应的 X_0 ~ X_7是高速计数输入端子；也可作为外部中断输入，但此时不再作为普通输入端子。

第二节　可编程序控制器（三菱）的基本元件

一、输入/输出元件

（1）输入继电器 X　二进制位元件，以字节为单位，八进制编号。直接接受外部开关量输入信号，触点状态由外部决定。有触点无线圈。

（2）输出继电器 Y　二进制位元件，八进制编号，PLC 输出对应唯一的输出继电器。有线圈与触点，线圈状态由程序决定。程序结果输出，由输出继电器输出到外部执行元件。

（3）辅助继电器 M　用于程序中间状态存储、逻辑运算，十进制编号。其分为普通与特殊辅助继电器 M，普通辅助继电器 M 用于逻辑运算，也可拼成数字，部分辅助继电器 M 有停电保持功能。特殊辅助继电器 M 功能需查表，分为只读和读/写，只读特殊辅助继电器 M 只能用触点，如 M 8 011 为 10ms 时钟脉冲。读/写特殊辅助继电器 M 为 PLC 程序执行控制信号，将其赋值控制特定动作，如使 M 8 051 = 1，I1□□禁止中断。

（4）状态继电器 S　十进制编号。用于顺序功能图 SFC 编程，位元件。

（5）定时器 T　十进制编号。用于延时，当前延时值大于或等于设定值时触点接通。时间值可用 K 或 D 加以设定。

（6）计数器 C　计数控制，十进制编号。计数值可用常数 K 或 D 设定，当前计数值大于或等于设定值时触点接通。分为通用计数器 C（含 16 位增、32 位双向）、高速输入计数器 C（32 位双向，含增/减脉冲输入与 A/B 两相 90°相位差脉冲输入）。

通用 16 位增计数器只加计数 0 ~ 32 767，计数频率不大于 10Hz，分为一般型与停电保持型两种，计数达到设定值时停止加计数；C200 ~ C234 为通用 32 位双向加减计数，－2 147 483 648 ~ ＋2 147 483 647，当 M82□□ON 时 C2□□减计数，当 M82□□OFF 时 C2□□加。32 位双向计数器 C 分为非保持型与停电保持型两种。

高速输入计数器 C 与基本单元高速输入点对应，频率为 60 ~ 100kHz。

（7）数据寄存器 D　按十进制连续排列。存储 16 位二进制数，两相邻数据寄存器 D 组合存储 32 位二进制数，程序中相邻数据寄存器 D 自动组合，只表达低位数据寄存器 D，见图 7-28、图 7-29，最高位符号位。其分为

15	14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0	
	高字节	低字节

符号位0：+；1:－

图 7-28　16 位数据存储器 D10

31 30 29 28 27 26 25 24	23 22 21 20 19 18 17 16	15 14 13 12 11 10 9 8	7 6 5 4 3 2 1 0
D11高字节	D11低字节	D10高字节	D10低字节

符号位0：+；1:−

图 7-29　32 位数据存储器 D10

一般型、停电保持型和特殊数据寄存器 D。另外，变址寄存器也是数据寄存器。

二、存储器

（1）RAM　存储 PLC 运算、处理结果等。一般 RAM 数据在 PLC 断电时即清除，也可用电容器或电池保持。FX_{1N}的部分 M、T、C、D 用电容保存的时间不长。FX_{2N}/FX_{3U}系列用电池可保持 2～5 年。

（2）EEPROM（或 Flash ROM）　CPU 模块带有保持型存储器（EEPROM 或 Flash ROM），数据永久存储。保持型存储器用于存储用户程序、参数、注释与数据文件等，FX_{1S}/FX_{1N}系列部分辅助继电器 M、T、C、D 也直接存储于 EEPROM 中。

（3）Flash ROM 卡　容量大、使用方便、通用性强，是 PLC 首选的存储器件。一般为保持型 Flash ROM 存储器，可作 PLC 存储器扩展与后备。用于保存用户程序、参数、注释与数据文件等。FX_{3U}系列可由带程序传送功能的存储卡，直接送程序、参数及读 PLC 保持型辅助 M、T、C 等的状态。

第三节　三菱 FX 系列可编程序控制器

三菱 F 系列可编程序控制器包括 F、F_1、F_2、FX_2、FX_1、FX_{2C}、FX_0、FX_{0N}、FX_{0S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}、FX_{3U}、FX_{3UC}、FX_{3G}、FX_{5U}和 FX_{5G}等。其中 F、F_1、F_2、FX_2、FX_1、FX_{2C}、FX_0、FX_{0N}、FX_{0S}等系列为老产品，为便于查阅，将其总体性能列于表 7-2 中。

表 7-2　三菱小型 PLC 的总体性能

	F_1	FX_0	FX_{0N}	FX_2	FX_{2C}
最大 I/O	120	30	128	256	256
基本/功能指令	22/87	22/35	22/38	22/96	96
执行速度/(μs/步)	12	1.6～3.6	1.6～3.6	0.48	0.48
程序容量/步	1K	800	2K	2K	2K
数据寄存器	64	61	514	1 258	1 258
文件寄存器	—	—	1 500	4K	4K
定时/计数器	32/32	51/21	51/64	256/241	256/241
中断源	—	4	4	15	15

（续）

	F_1	FX_0	FX_{0N}	FX_2	FX_{2C}
状态器	40	64	118	1 000	1 000
辅助继电器	272	569	569	1 792	1 792
A-D 转换器	F_2-6A-E4 路	—	FX_{0N}-3A	F_X-4AD，F_X-4AD-PT	
D-A 转换器	F_2-6A-E2 路	—	FX_{0N}-3A	F_1-2AD	F_1-2AD
定位控制	F_2-30GM	—	—	F_1-1GM F_1-20GM	F_1-1GM F_1-20GM

1. F 系列

整体结构，仅有开关量，20 条指令，由基本单元、扩展和特殊单元组成。其基本单元和扩展单元见表 7-3。

表 7-3　F 系列基本单元和扩展单元

单元	型号	输入点	输出点	扩展连接口数
基本	F-12M	6	6	1
	F-20M	12	8	1
	F-40M	24	16	2
	F-60M	36	24	2
扩展	F-10E	4	6	1
	F-20E	12	8	1
	F-40E	24	16	2

2. F_1 系列

它的型号规格见表 7-4。输入输出无元件号，由地址号识别。

表 7-4　F_1 系列 PLC 的型号规格

型号	输入点	输出继电器号	输出点	输出继电器号
F_1-12MR	6	400～405	6	430～435
F_1-20MR	12	400～407 410～413	8	430～437
F_1-30MR	16	400～407 410～413 500～503	14	430～437 530～535
F_1-40MR	24	400～407 410～413 500～507 510～513	16	430～437 530～537
F_1-60MR	36	000～007 010～013 400～407 410～413 500～507 510～513	24	030～037 430～437 530～537
F_1-10ER	4	( )14～( )17	6	( )40～( )45

（续）

型号	输入点	输出继电器号	输出点	输出继电器号
F_1-20ER	12	( )14 ~ ( )27	8	( )40 ~ ( )47
F_1-40ER	24	414 ~ 427 514 ~ 527	16	440 ~ 447 540 ~ 547
F_1-60ER	36	014 ~ 027 414 ~ 427 514 ~ 527	24	040 ~ 047 440 ~ 447 540 ~ 547

3. FX 系列

FX 系列 PLC 的基本性能见表 7-5，FX_0、FX_{0N}和 FX_2、FX_{2C}系列 PLC 的特殊功能指标见表 7-6。

表 7-5　FX 系列 PLC 的基本性能

项　目		FX_0	FX_{0N}	FX_2	FX_{2C}
最大 I/O		30	128	256	256
机种	主机	12	12	31	4
	扩展单元	—	1	5	5
	扩展模块	—	4	22	22
指令数	基本	22	22	22	22
	功能	35 种 50 个	38 种 55 个	96 种 228 个	96 种 228 个
容量	内附程序/步	800EEPROM	2 000 EEPROM	2 000RAM	2 000RAM
	最大程序/步	800	2 000	8 000	8 000
	最大容量/位	1. 6K	16K	16K	16K
一般辅助继电器		512	512	1 536	1 536
定时器	1ms/10ms/100ms	0/24/26	1/31/32	4/46/206	4/46/206
	模拟(内附)	1	2	—	—
计数器	一般	16	32	235	235
	高速	5	13	8	8
数据寄存器	一般	32	256	1 000	1 000
	文件	/	1 500	4 000	4 000

表 7-6　FX_0、FX_{0N}和 FX_2、FX_{2C}系列 PLC 的特殊功能指标

项　目	FX_0系列	FX_{0N}系列	FX_2 系列	FX_{2C}系列
SFC 程序	后备锂电池保持		锂电池保持	
注释输入	—		锂电池保持	
内附 RUN/STOP 开关	后备锂电池保持		锂电池保持(可外带)	
模拟设定定时器	1 点(内)	2 点(内)	可与 FX—4AV 连接	
程序 RUN 中写入	—	—	锂电池保持	

（续）

项　目	FX_0系列	FX_{0N}系列	FX_2 系列	FX_{2C}系列
时钟功能	—	—	锂电池保持(用 RTC 卡盒)	
输入滤波器调整	X0～X17，0～15ms 可变	X0～X17，0～15ms 可变	X0～X17，0～60ms 可变	
恒定扫描	后备锂电池保持		锂电池保持	
采样跟踪	—		使用 RAM 文件寄存器时不可	
关键字登陆	后备锂电池保持		锂电池保持	
报警信号器	—	—	—	

4. FX_{2N}系列

FX_{2N}系列 PLC 的输入输出点之比为 1∶1，外接扩展单元点不超过 256 点。其技术指标见表 7-7，基本单元见表 7-8，性能规格见表 7-9。

表 7-7　FX_{2N}系列 PLC 的技术指标

项　目		规　格
电源及输入输出	电源规格	AC 100～240V；DC 24V
	输入规格	DC 24V 7/5mA(无电压触点，或 NPN 集电极开路型晶体管输入)；AC 100～240V
	输出规格	继电器，2A/1 点，8A/4 点公共端 AC 250V，DC 30V 晶体管，0.5A/1 点(Y0、Y1 为 0.3A/1 点)，0.8/4 点公共端DC 5～30V 晶闸管，0.3A/1 点，0.8A/4 点公共端AC 85～242V
	输入输出扩展	可连接 FX_{0N}、FX_{2N}系列 PLC 的扩展单元
性能	程序内存	内置8 000步 RAM(备用电池)，注释输入，可以在 RUN 时写入安装存储盒时，最大扩展16 000步
	时钟功能	内置实时时钟
	指令	基本指令 27 条，步进指令 2 条，功能指令 130 条
	速度	基本指令 0.08μs；功能指令 1.52μs 到几百微秒
	高速处理	有输入输出刷新指令，输入滤波器调整指令，外部输入中断功能，定时器中断、计数器中断、高速计数置位功能，脉冲捕捉功能
	输入输出点	256 点
	辅助继电器/定时器	辅助继电器3 072点，定时器 256 点
	计数器	一般用 16 位增计数 200 点；一般用 16 位增减计数 35 点；高速用 32 位增减计数[1 相]60kHz/2 点，10kHz/4 点；[2 相]30kHz/1 点，5kHz/1 点
	数据寄存器	一般8 000点，变址 16 点，文件用最大可以在程序区域中设7 000点

（续）

项　目		规　格
其他	模拟电位器	用 FX_{2N}-8AV-8D 型的功能扩展板可内置增加 8 点
	功能扩展板	安装 FX_{2N}□□□-BD 型功能扩展板
	特殊适配器	FX-CNV-BD 连接
	特殊扩展	可连接 FX_{0N}、FX_{2N} 系列 PLC 的特殊单元及特殊模块
	显示模块	可外置 FX-10DM（也可直接连接 GOT、ET 系列显示器）
	适用数据通信、链接	RS-232C、RS-485、RS-422、简易 PC 链接、并联链接、计算机链接、CC-Link、CC-Link/LK、MELSEC-I/O 链接、AS-i 网络

表 7-8　FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元

型号	输入输出计数，输入输出形式			
	输入点		输出点	
FX_{2N}—16MR；FX_{2N}—16MT	8	DC 24V	8	MR，基本单元，继电器输出 MT，基本单元，晶体管输出
FX_{2N}—32MR；FX_{2N}—32MT	16		16	
FX_{2N}—48MR；FX_{2N}—48MT	24		24	
FX_{2N}—64MR；FX_{2N}—64MT	32		32	
FX_{2N}—80MR；FX_{2N}—80MT	40		40	
FX_{2N}—128MR；FX_{2N}—128MT	64		64	
FX_{2N}—32MR—D；FX_{2N}—32MT—D	16		16	
FX_{2N}—48MR—D；FX_{2N}—48MT—D	24		24	
FX_{2N}—64MR—D；FX_{2N}—63MT—D	32		32	
FX_{2N}—80MR—D；FX_{2N}—80MT—D	40		40	

表 7-9　FX_{2N} 系列 PLC 的性能规格

项　目		性能规格
控制方式		循环扫描与刷新，中断指令
输入输出方式		有批处理方式，输入输出刷新指令，脉冲捕捉指令
编程语言		指令表、梯形图、SFC
程序内存	最大内存容量	16 000步（含注释，文件寄存器最大16 000步）
	内置存储容量形式	有8 000步 RAM（备用在内置锂电池），具有口令保护功能。电池寿命 5 年，用 RAM 卡盒时约为 3 年

（续）

项目		性能规格
程序内存	存储盒	RAM 16 000步（也适用2 000/4 000/8 000步）；EPROM 16 000步（也适用2 000/4 000/8 000步）；EEPROM 4 000步（也适用2 000步）；EEPROM 8 000步（也适用2 000/4 000步）；EEPROM 16 000步（也适用2 000/4 000/8 000步）
	功能扩展存储器	版本 V3.00 以上，可安装 FX_{2N}—ROM—E1 功能扩展存储器，变频器运行控制功能，EEPROM 16 000步（也适用2 000/4 000/8 000步）
	RUN 时写入功能	可以
实时时钟	时钟功能	内置，不可使用带实时时钟功能的存储盒
指令种类	指令	基本指令 27 条；SFC 指令 2 个；132 种 309 个
运算指令	基本指令	0.08μs/步
	应用指令	1.52～数百 μs/步
输入输出	扩展合用时输入	X 0～X 267
	扩展合用时输出	Y 0～Y 267
	扩展合用时合计	256 点
辅助继电器	一般用 1	M0～M499
	保持用 2	M500～M 1 023
	保持用 3	M 1 024～M 3 071
	特殊用	M 8 000～M 8 255
状态	初始状态	S0～S9
	一般用	S10～S499
	保持用	S500～S899
	信号指示用	S900～S999
定时器	100ms	T0～T199（0.1～3 276.7s）
	10ms	T200～T245（0.01～327.67s）
	1ms 累计型	T246～T249（0.001～32.767s）
	100ms 累计型	T250～T255（0.1～3 276.7s）
计数器	16 位增计数 1	C0～C99（0～32 767计数）
	16 位增计数 2	C100～C199（0～32 767计数）
	32 位双计数 1	C200～C219（－2 147 483 648～2 147 483 647计数）
	32 位双计数 2	C220～C234（－2 147 483 648～＋2 147 483 647计数）
	32 位高速双方向	C235～C255［1 相］60kHz/2 点，10kHz/4 点；［2 相］30kHz/1 点，5kHz/1 点

（续）

项　　目		性 能 规 格
数据寄存器（成对用时32位）	16 位通用 1	D0 ~ D199
	16 位保持用 2	D200 ~ D511
	16 位保持用 3	D512 ~ D 7 999（根据参数设定，从 D 1 000开始可以以 500 点为单位设定文件寄存器）
	16 位特殊用	D 8 000 ~ D 8 195
	16 位变址	V0 ~ V7，Z0 ~ Z7
指针	JUMP，CALL 分支用	P0 ~ P127
	输入中断，定时器中断	I0□□ ~ I8□□
	计数器中断	I010 ~ I060
嵌套	主控用	N0 ~ N7
常数	十进制数（K）	16 位：－ 32 768 ~ ＋ 32 768；32 位：－ 2 147 483 648 ~ ＋2 147 483 647
	十六进制数（H）	16 位：0 ~ FFFF；32 位：0 ~ FFFFFFFF

（1）基本单元　FX_{2N}系列 PLC 的构成见图 7-30，型号见图 7-31。I/O 点数少于 256 点；可配套温度传感器输入、温度调节、脉冲输出、高速计数、转角检测、轴定位控制等特殊模块。

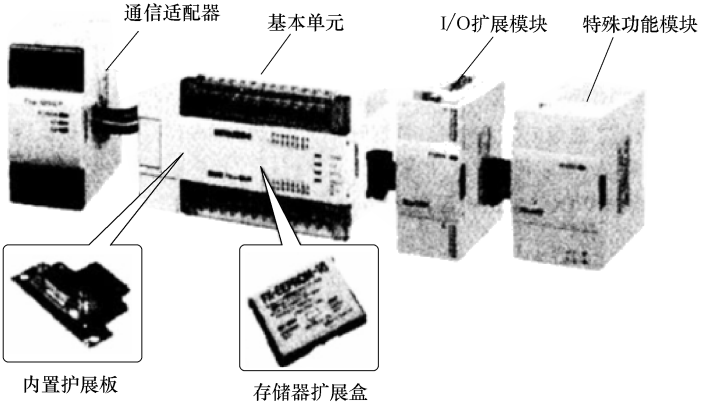


图 7-30　FX_{2N}系列 PLC 的构成

（2）型号与规格　有继电器、晶体管、晶闸管输出型，FX_{2N}-128M 无晶闸管输出型，此外有 AC100V 开关量输入（UL 标准）的特殊规格。它的基本单元型号与输入电源要求见表 7-10。

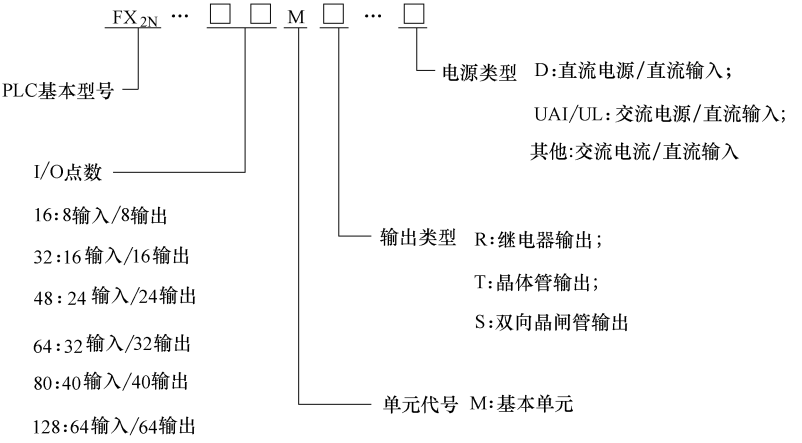


图 7-31　型号构成

表 7-10　FX_{2N}系列 PLC 的基本单元型号与输入电源要求

型号	输入		输出	输入电源		
	点数	规格	点数	额定	允许范围	容量/V·A
FX_{2N}—16MR;FX_{2N}—16MT;FX_{2N}—16MS	8	DC 24V	8	AC 100/200V	AC 85～264V	30
FX_{2N}—32MR;FX_{2N}—32MT;FX_{2N}—32MS	16		16			40
FX_{2N}—48MR;FX_{2N}—48MT;FX_{2N}—48MS	24		24			50
FX_{2N}—64MR;FX_{2N}—64MT;FX_{2N}—64MS	32		32			60
FX_{2N}—80MR;FX_{2N}—80MT;FX_{2N}—80MS	40		40			70V·A
FX_{2N}—128MR;FX_{2N}—128MT	64		64			80
FX_{2N}—16MR—UA1/UL	8	AC 100V	8			30
FX_{2N}—32MR—UA1/UL	16		16			40
FX_{2N}—48MR—UA1/UL	24		24			50
FX_{2N}—64MR—UA1/UL	32		32			60
FX_{2N}—32MR—D;FX_{2N}—32MT—D	16	DC 24V	16	DC 24V	DC 16.8～28.8V	25W
FX_{2N}—48MR—D;FX_{2N}—48MT—D	24		24			30W
FX_{2N}—64MR—D;FX_{2N}—64MT—D	32		32			35W
FX_{2N}—80MR—D;FX_{2N}—80MT—D	40		40			40W

（3）编程功能　FX_{2N}系列 PLC 的编程功能见表 7-11。

表 7-11　FX_{2N}系列 PLC 的编程功能

项目		功　　能
编程语言		指令表、梯形图、SFC
用户存储器容量		内置 EEPROM:8 000步;存储器盒:16 000步
指令		顺控 27 条;步进 2 条;功能 132 种,309 条
速度(μs/条)		基本指令 0.08;应用指令 1.52
I/O 点数		≤256 点
辅助继电器	一般	M0 ~ M499
	保持型	M500 ~ M 3 071
	特殊用	M 8 000 ~ M 8 255
状态单元	初始	S0 ~ S9
	一般	S10 ~ S499
	保持区域	S500 ~ S899
定时器	100ms	T0 ~ T199,T250 ~ 255
	10ms	T200 ~ 245
	1ms	T246 ~ 249
计数器	16 位通用	C0 ~ C99(加)
	16 位保持	C100 ~ C199(加)
	32 位通用	C200 ~ C219(加减)
	32 位保持	C220 ~ C234(加减)
	32 位高速	C235 ~ C255
数据寄存器	16 位通用	D0 ~ D199
	16 位保持	D200 ~ D 7 999
	文件寄存器	D 1 000 ~ D 7 999区域参数设定,最大7 000点
	16 位特殊	D 8 000 ~ D 8 195
	16 位变址	V0 ~ V7,Z0 ~ Z7
指针	跳转用	P0 ~ P127
嵌套	主控用	N0 ~ N7
常数	十进制	16 位:-32 768 ~ +32 767;32 位: -2 147 483 648 ~ +2 147 483 647
	十六进制	16 位:0 ~ FFFF;32 位:0 ~ FFFFFFFF

（4）高速计数与脉冲输出　基本单元有高速 I/O 点，高速输入频率不大于 60kHz，高速脉冲输出 2 通道（轴）独立 20kHz 脉冲；FX_{2N}可选用外置 FX_{2N}—1HC 高速计数模块、FX_{2N}—10PG/FX_{2N}—10GM 等高速脉冲输出与定位模块，计数脉冲输入与输出最高频率分别 50kHz 与 1MHz。

（5）通信与网络　通过内置式扩展板 RS—232C/RS—422/RS-485。选

配网络主站模块，可作分布式 PLC 系统的主站，链接远程 I/O 模块（I/O 从站，≤7 台），构成 CC-Link、AS-i 分布式 PLC 系统，也可连变频器等远程设备（≤8 台）构成 PLC 网络；通过选配网络从站模块（接口模块），FX_{2N} 可作 CC-Link 网络的从站，链接到其他 PLC（如 Q 系列）为主站的网络。

（6）连接要求　基本单元增加 AC100V 输入与晶闸管输出。AC100V 输入见表 7-12，晶闸管输出见表 7-13。

表 7-12　FX_{2N} 系列 PLC AC100V 输入规格

项目	规格
输入信号电压	AC 100～120V，－15%～＋10%
输入信号电流	6.2mA/AC 110V，60Hz
输入“ON”电流	≥3.8mA
输入“OFF”电流	≤1.7mA
输入响应时间	20～30ms（无高速输入）
输入信号形式	触点输入
输入隔离电路	光耦合
输入显示	输入 ON 时，LED 亮

表 7-13　FX_{2N} 系列 PLC 晶闸管输出规格

项目	规格
输出电压	AC85～242V
最大输出电流	电阻负载，≤0.3A/1 点，≤0.8A/4 点，≤0.8A/8 点
驱动感性负载容量	AC100V，≤15VA/点；AC 200V，≤30V·A/点
驱动电阻负载功率	≤30W/点
输出开路漏电流	1mA/AC 100V，2mA/AC 200V
输出最小负载	AC100V，≥0.4V·A；AC200V，≥1.6VA
输出响应时间	≤1ms
输出形式与隔离	汇点输出，光耦合隔离
输出显示	输出“ON”时，指示灯（LED）亮

（7）扩展性能　特殊模块多，其扩展功能见图 7-32，电源供给见图 7-33。

① I/O 点。输入输出点数均不超过 184 点，总点数不超过 256；用内置扩展板、网络扩展模块、特殊模块占 I/O 点计入 I/O 总数；基本单元与扩展选件 I/O 点以 8 点计算。

② 扩展选件安装数。内置扩展板只能 1 块；I/O 扩展单元与 I/O 扩展模块可自由安装，但受 I/O 点与电源容量限制；转角检测扩展模块 FX_{2N}—1RM—E—SET 不超过 3 只；AS-i 主站模块 1 只；其他特殊模块与网络模块

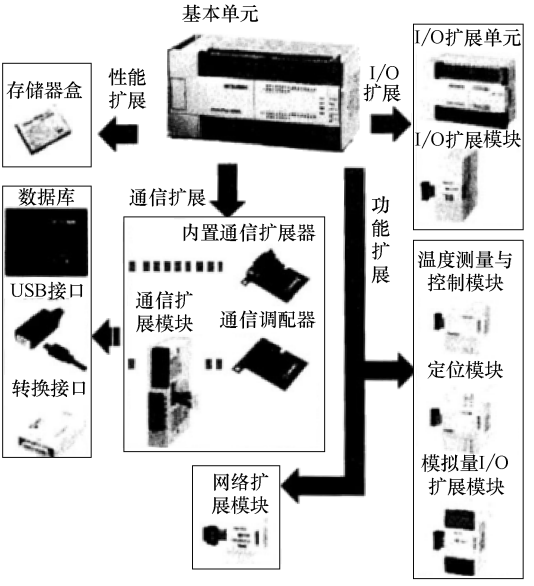


图 7-32　FX_{2N}扩展性能

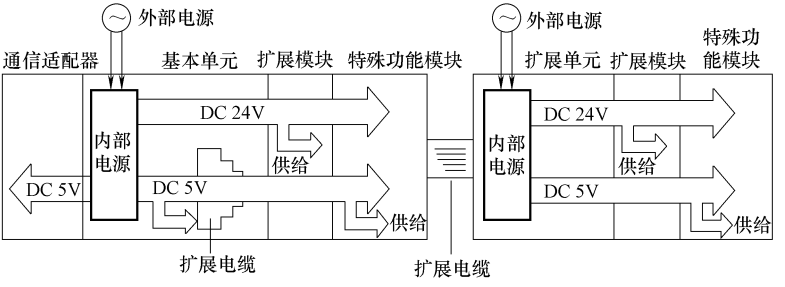


图 7-33　PLC 电源供给

安装总数不超过 8 只。

③ 扩展选件。FX_{2N}—1RM—E—SET、FX_{0N}—3A 模拟量 I/O、FX_{2N}—2AD、FX_{2N}—2DA 等。

④ 扩展电缆长度。近距离安装时，用附带扩展电缆 55mm；远距离安装时配电缆 300mm 或 650 mm，配 FX_{2N}—CNV—BC。

（8）网络主站　FX_{2N}作主站构成分布式 PLC 系统或 PLC 网络时，FX_{2N}不能同时作 CC-Link 网络主站及 AS-i 网主站；AS-i 网主站模块只能用 1 只，即当 FX_{2N}作网络主站时，对所链接的远程 I/O 模块、远程设备（PLC、变频器等）数量、最大传输距离有限制；当 FX_{2N}作网络从站接入其他 PLC 网络系统时，链接 FX_{2N}数量与最大传输距离等与主站有关。

（9）扩展单元规格

① 扩展模块。I/O 扩展单元带外部电源输入端，不需要基本单元电源，还可为其他模块提供 DC 24V 与 DC 5V 电源，见图 7-33；FX_{2N}系列 I/O 扩展单元型号、性能与电源、可供 DC 24/5V 电源，见表 7-14；扩展模块无外部电源输入端，需要基本单元或扩展单元提供 DC 24V。FX_{2N}系列 I/O 扩展模块的规格见表 7-15；I/O 扩展模块 DC 24V 输入与 AC100V 输入连接与基本单元相同；FX_{2N}系列还有 DC 5V 输入 FX_{2N}-16EXL-C，该模块直接与 TTL 信号连接，输入电路见图 7-34；DC 5V 为汇点输入，输入电源外供，输入电路限流电阻 2.2kΩ；输入信号规格见表 7-16；DC 24V/lA 晶体管输出 FX_{2N}—8EYT—H、插头连接的 DC 24V 晶体管输出模块见表 7-17。

表 7-14　FX_{2N}系列扩展单元

型号	名称与功能	输入电源	
		额定电压	范围
FX_{2N}—32ER	16 点 DC24V 输入/16 点继电器	AC100/200V	85 ~ 264V
FX_{2N}—32ET	16 点 DC24V 输入/16 点晶体管		
FX_{2N}—32ES	16 点 DC24V 输入/16 点晶闸管		
FX_{2N}—48ER	24 点 DC24V 输入/24 点继电器		
FX_{2N}—48ET	24 点 DC24V 输入/24 点晶体管		
FX_{2N}—48ER—UA1/UL	24 点 AC100V 输入/24 点晶体管		
FX_{2N}—48ER—D	24 点 DC24V 输入/24 点继电器	DC24V	DC 16.8 ~ 28.8V
FX_{2N}—48ET—D	24 点 DC24V 输入/24 点晶体管		

表 7-15　FX_{2N}系列 I/O 扩展模块的规格

扩展型号		名称与功能	I/O 点
输入	FX_{2N}—8EX	8 点 DC 24V	8/0
	FX_{2N}—8EX—UA1/UL	8 点 AC 100V	
	FX_{2N}—16EX	16 点 DC24V	16/0
	FX_{2N}—16EX—C	16 点 DC 24V(插头连接)	
	FX_{2N}—16EXL—C	16 点 DC 5V(插头连接)	

（续）

扩展型号		名称与功能	I/O 点
输出	FX_{2N}—8EYR	8 点继电器	0/8
	FX_{2N}—8EYT	8 点 DC 24V/0.5A 晶体管	
	FX_{2N}—8EYT—H	8 点 DC 24V/1A 大功率晶体管	
	FX_{2N}—16EYR	16 点继电器	0/16
	FX_{2N}—16EYT	16 点 DC 24V/0.5A 晶体管	
	FX_{2N}—16EYS	16 点晶闸管	
	FX_{2N}—16EYT—C	16 点 DC 24V/0.3A 晶体管(插头连接)	
混合	FX_{2N}—8ER	4 输入/4 继电器	8/8

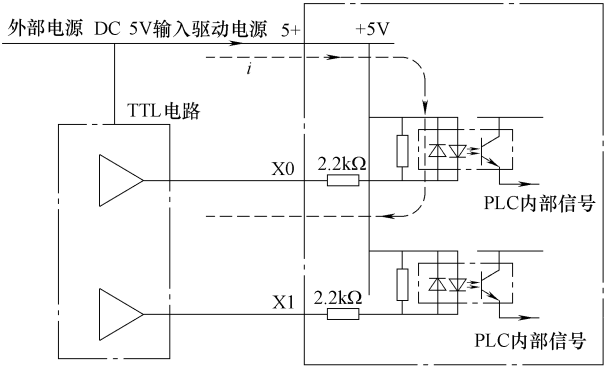


图 7-34　DC5V 输入电路

表 7-16　FX_{2N} 系列 DC5V 输入信号规格

项　　目	技 术 参 数
输入信号电压	DC 5V, -5% ~ +5%
输入信号电流	20mA/DC 5V
输入“ON”电流	≥3.5V/1mA
输入“OFF”电流	≤1.5V/0.4mA
输入响应时间	1ms
输入信号形式	TTL 电平或接点
输入连接与隔离	汇点输入,光耦合隔离
输入显示	ON 时,LED 亮

表 7-17　FX_{2N}系列大功率晶体管与插接式输出规格

项目	技术参数	
	FX_{2N}-8EYT-H	FX_{2N}-16EYT-C
输出电压	DC 5～30V	
最大输出电流	电阻负载,≤1A/1 点,≤2A/4 点	电阻负载,≤0.3A/1 点,≤1.6A/4 点
驱动感性负载容量	≤24V·A/DC 24V	≤7.2V·A/DC 24V
输出开路漏电流	≤0.1mA/DC 30V	
输出响应时间	≤0.2ms	
输出连接与隔离电路	汇点输出,光耦合隔离	
输出显示	输出“ON”时,指示灯(LED)亮	

② 网络扩展模块，见表 7-18。选配主站模块后，FX_{2N}可作分布式 PLC 主站，通过链接远程 I/O 模块（I/O 从站）构成分布式 PLC 系统，也可链接其他 PLC、变频器等远程设备，构成 PLC 网络；选配从站模块，FX_{2N}可作 CC-Link 网络从站，链接 PLC 网络中。

表 7-18　FX_{2N}系列网络扩展模块

型号	模块名称与功能	占 I/O 点
FX_{2N}—16CCL—M	CC—Link 主站	8
FX_{2N}—16LNK—M	MELSEC—I/O Link 主站	—
FX_{2N}—32ASI—M	AS—i 主站	8
FX_{2N}—64CL—M	CC—Link/LT 主站	
FX_{2N}—32CCL	CC—Link 从站(接口)	
FX_{2N}—232IF	RS—232C 通信接口	

③ 特殊模块，见表 7-19。

表 7-19　FX_{2N}系列特殊模块

型号	名称与功能		占 I/O 点
FX_{2N}—2AD	2 通道	模拟量输入	8
FX_{2N}—4AD	4 通道		
FX_{2N}—8AD	8 通道		
FX_{2N}—4AD—PT	4 通道 Pt100 温度传感器扩展		
FX_{2N}—4AD—TC	4 通道热电偶温度传感器扩展		
FX_{0N}—3A	2 通道入/1 通道出模拟量 I/O 扩展		
FX_{2N}—5A	3 通道入/2 通道出模拟量 I/O 扩展		
FX_{2N}—2DA	2 通道模拟量输出		
FX_{2N}—4DA	4 通道模拟量输出		
FX_{2N}—2LC	2 通道温度调节		

（续）

型 号	名称与功能	占 I/O 点
FX_{2N}—1HC	1 通道输入高速计数	8
FX_{2N}—1PG	单轴,两相脉冲输出	
FX_{2N}—10PG	单轴,两相高速脉冲输出	
FX_{2N}—10GM	单轴位置控制单元	
FX_{2N}—20GM	2 轴位置控制单元	
FX_{2N}—1RM—SET	转角检测单元	

5. FX_{1N}系列

FX_{1N}系列 PLC 采用基本单元＋扩展结构，见图 7-35，扩展模块与扩展单元直接用 FX_{2N}系列 PLC，扩展性能见图 7-36。

（1）型号与规格　FX_{1N}系列 PLC 可用 FX_{0N}、FX_{2N}系列的 I/O 扩展 I/O 点，I/O≤128 点；FX_{1N}可用 FX_{2N}系列的网络通信扩展模块，在 RS-232/RS-485/RS-422 通信基础上，增加 AS-i、CC-Link、CC-Link/LT 等网络功能；FX1N 系列的 DC 24V 可 DC 12/24V 通用，FX_{1NC}系列只能用 DC 24V。每一规格分为 AC 100/200V、DC 12/24V 电源输入及继电器、晶体管输出，晶体管输出只能采用汇点方式。FX_{1N}系列 PLC 的基本单元规格与电源要求见表 7-20。

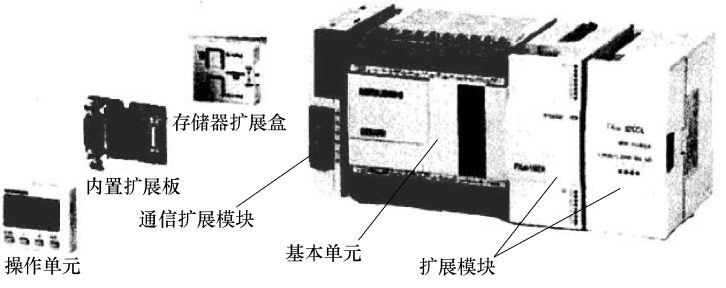


图 7-35　FX_{1N}系列 PLC 的构成

（2）基本性能

1）编程功能。FX_{1N}系列 PLC 的编程功能见表 7-21。

2）高速计数与脉冲输出。直接用基本单元高速 I/O，内置高速计数与脉冲输出。脉冲输入≤60kHz，输出 2 通道（轴）独立 100kHz 脉冲。FX_{1N}系列不能用 FX_{2N}—1HC、FX_{2N}—1PG/FX_{2N}—10PG/FX_{2N}—10GM/FX_{2N}—20GM 等高速脉冲输出与定位模块。

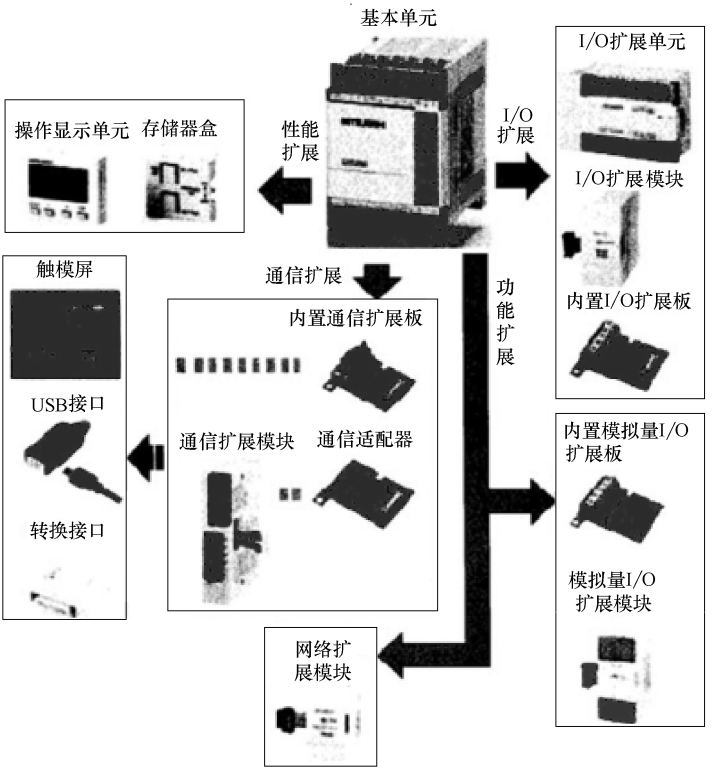


图 7-36　FX_{1N}系列 PLC 的扩展性能

表 7-20　FX_{1N}系列 PLC 的基本单元规格与电源要求

型号	输入		输出		输入电源
	点数	规格	点数	形式	
FX_{1N}—24MR；FX_{1N}—24MT	14	DC 24V	10	R—继电器输出 T—晶体管输出	AC 85 ~ 264V
FX_{1N}—40MR；FX_{1N}—40MT	24		16		
FX_{1N}—60MR；FX_{1N}—60MT	36		24		
FX_{1N}—24MR—D；FX_{1N}—24MT—D	14		10		DC 10.2 ~ 28.5V
FX_{1N}—40MR—D；FX_{1N}—40MT—D	24		16		
FX_{1N}—60MR—D；FX_{1N}—60MT—D	36		24		

表 7-21　FX_{1N}系列 PLC 的编程功能

项　　目		功　　能
编程语言		指令表、梯形图、SFC
用户存储器容量		内置 EEPROM,8 000步;存储器盒,8 000步
指令		基本指令 27 条;步进指令 2 条;功能指令 89 种
速度/(μs/条)		基本指令 0.55 ~0.7;功能指令 3.7
I/O 点数		≤128 点
辅助继电器	一般用	M0 ~ M383
	保持型	M384 ~ M 1 535
	特殊用	M 8 000 ~ M 8 255
状态元件	初始状态	S0 ~ S9
	一般状态	S10 ~ S127
	保持区域	S128 ~ S899
定时器	100ms	T0 ~ T199,T250 ~ T255
	10ms	T200 ~ T245
	1ms	T246 ~ T249
计数器	16 位通用	C0 ~ C15(加)
	16 位保持	C16 ~ C199(加)
	32 位通用	C200 ~ C219(加减)
	32 位保持	C220 ~ C234(加减)
	32 位高速	C235 ~ C255(加减)
模拟电位器		D 8 030和 D 8 031
数据寄存器	16 位通用	D0 ~ D127
	16 位保持	D128 ~ D 7 999
	文件寄存器	D 1 000 ~ D 7 999区域参数设定,最大7 000点
	16 位特殊	D 8 000 ~ D 8 255
	16 位变址	V0 ~ V7,Z0 ~ Z7
指针	跳转用	P0 ~ P127
嵌套	主控用	N_0 ~ N_7
常数	十进制	16 位:-32 768 ~ +32 767;32 位:-2 147 483 648 ~ +2 147 483 647
	十六进制	16 位:0 ~ FFFF;32 位:0 ~ FFFFFFFF

3）通信与网络。通过 RS—232C/RS—422/RS—485 接口扩展，实现 PLC 与 PLC、计算机与 PLC 互联，有网络控制。选配网络主站模块，FX_{1N}系列可作分布式 PLC 主站，链接远程 I/O 模块（I/O 从站≤7 台）构成 CC—Link、AS—i 分布式 PLC 系统，也可链接其他 PLC、变频器等远程设备（≤8 台）构成 PLC 网络。

选配网络从站模块，FX_{1N}可作 CC—Link 从站，链接到以其他 PLC（如

Q 系列）为主站的 PLC 网络系统。

选配主站模块，FX_{1N}可作分布式 PLC 主站，链接远程 I/O 模块（I/O 从站）构成分布式 PLC 系统；链接 PLC、变频器等远程设备构成 PLC 网络。可用的网络扩展模块见表 7-22，FX_{1N}网络扩展模块与 FX_{2N}系列通用，占 I/O 点，系统 I/O≤128 点；FX_{1N}作主站时，不可同时用 FX_{2N}—16CCL—M 与 FX_{2N}—32ASI—M；FX_{1N}构成 AS—i 分布式 PLC 系统时，只能用 1 个 AS—i 主站模块 FX_{2N}—32ASI—M；FX_{1N}构成 CC—Link 或 AS—i 分布式 PLC 控制系统时，所链接的远程 I/O 模块（I/O 从站）数不超过 7 个；构成 PLC 网络时，FX_{1N}系列控制的 PLC、变频器等远程设备不超过 8 台；网络扩展模块所需 DC 24V 可外供或 PLC 的 DC 24V；网络扩展模块 DC 5V 需基本单元或扩展单元提供。

表 7-22　FX_{1N}系列 PLC 可用的网络扩展模块

型号	模块名称	DC 24V 消耗/mA	DC 5V 消耗/mA	占 I/O 点
FX_{2N}—16CCL—M	CC—Link 主站	150	—	8
FX_{2N}—16LNK—M	MELSEC—I/O Link 主站	90	200	—
FX_{2N}—32ASI—M	AS—i 主站	70	150	8
FX_{2N}—64CL—M	CC—Link/LT 主站	专用电源供电	190	
FX_{2N}—32CCL	CC—Link 从站(接口)	50	130	

4）可用部分 FX_{2N}/FX_{0N}系列的 I/O 扩展单元和特殊模块。

① 内置扩展板。基本单元直接安装内置扩展板，可少量 I/O 点、模拟量 I/O 及通信接口扩展，内置扩展板见表 7-23。FX_{1N}基本单元只可安装 1 块内置扩展板；内置扩展板不消耗基本单元 DC 24V；模拟量 I/O 扩展板需需消耗基本单元的 DC 5V，配置 PLC 时计入总 I/O 点与 DC 5V 消耗；通信接口扩展板不占 I/O 点，但需要消耗基本单元 DC 5V。FX_{1N}内置式 4 点输入扩展板有独立输出端“S/S”，见图 7-37，可用汇点或源输入，输入规格与 DC 24V 输入相同。FX_{1N}内置式 2 点输出扩展板用 NPN 晶体管集电极开路输出驱动，2 点输出均为独立输出，见图 7-38。使用汇点或源输出，驱动能力与基本单元 DC 24V 标准晶体管输出相同。

② I/O 扩展模块。由扩展电缆与 FX_{1N}基本或 I/O 扩展单元连接。FX_{1N}基本单元或每一扩展单元连接的扩展模块，FX_{1N}扩展后 I/O 不超过 128 点；扩展模块消耗基本单元或扩展单元 DC 24V 与 DC 5V。

表 7-23　FX_{1N}系列 PLC 的内置扩展板

型号		扩展板名称与功能
I/O 扩展板	FX_{1N}—4EX—BD	4 点 DC 24V 输入内置
	FX_{1N}—2EYT—BD	2 点晶体管输出内置
模拟量 I/O 扩展板	FX_{1N}—2AD—BD	2 通道模拟量输入内置
	FX_{1N}—1DA—BD	1 通道模拟量输出内置
	FX_{1N}—8AV—BD	8 模拟电位器内置
通信接口扩展板	FX_{1N}—232—BD	内置式 RS—232
	FX_{1N}—485—BD	内置式 RS—485
	FX_{1N}—422—BD	内置式 RS—422
特殊通信扩展	FX_{1N}—CNV—BD	通信适配器(接口扩展板)
	FX_{2NC}—232ADP	外置式 RS—232(需 FX_{1N}—CNV—BD)
	FX_{2NC}—485ADP	外置式 RS—485(需 FX_{1N}—CNV—BD)

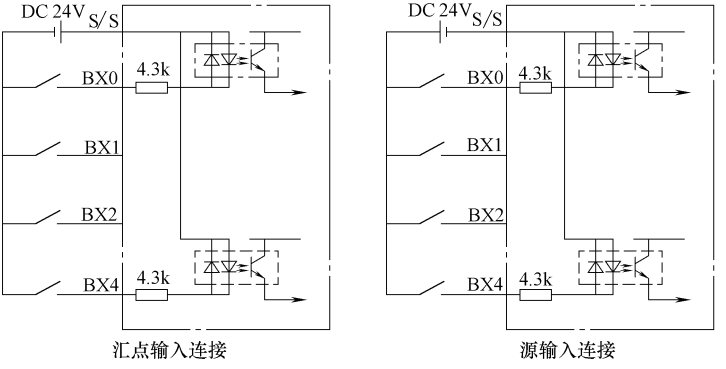


图 7-37　内置式 4 点输入扩展板的连接

a. I/O 规模。基本单元与每一个扩展单元可扩展 I/O 不超过 32 点，同时选配 I/O 扩展与功能模块时，扩展模块 I/O 不超过 16 点；内置扩展板、网络扩展模块、特殊模块计入 I/O 点总数；基本单元与扩展选件 I/O 点以 8 点为单位计算。I/O 扩展模块见表 7-24。

b. 扩展数量。内置扩展板安装只能安装 1 块；可连接 2 只扩展单元；纯 I/O 基本单元与每一扩展单元连接 I/O 扩展模块不超过 2 只；整个 I/O 扩展模块数不超过 6 只。纯模拟量 I/O 扩展模块（FX_{0N}-3A）安装，基本单元与每一扩展单元可接不超过 2 只，整个 PLC 用总数不超过 5 只；允许 I/O 扩展与特殊模块（模拟量 I/O、网络扩展模块）安装，但基本单元与每一扩展

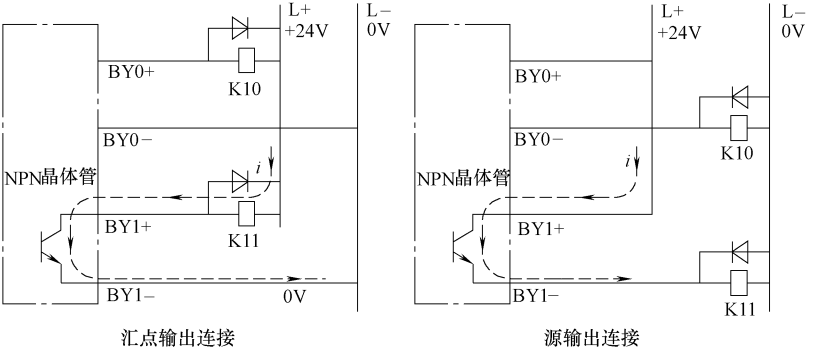


图 7-38　内置式 2 点输出扩展板的连接

单元只能接 1 只特殊模块与 1 只 I/O 扩展模块。

表 7-24　FX_{1N} 系列 PLC 的 I/O 扩展模块

扩展型号			模块名称	占 I/O 点
输入	FX_{0N} 系列	FX_{0N}—8EX	8 点 DC 24V	8/0
		FX_{0N}—16EX	16 点 DC 24V	16/0
	FX_{2N} 系列	FX_{2N}—8EX	8 点 DC 24V	8/0
		FX_{2N}—8EX—UA1/UL	8 点 AC 100V	
		FX_{2N}—16EX	16 点 DC 24V	16/0
		FX_{2N}—16EX—C	16 点 DC 24V(插头连接)	
		FX_{2N}—16EXL—C	16 点 DC 5V(插头连接)	
输出	FX_{0N} 系列	FX_{0N}—8EYR	8 点继电器	0/8
		FX_{0N}—8EYT	8 点晶体管	
		FX_{0N}—16EYR	16 点继电器	0/16
		FX_{0N}—16EYT	16 点晶体管	
	FX_{2N} 系列	FX_{2N}—8EYR	8 点继电器	0/8
		FX_{2N}—8EYT	8 点 DC 24V/0.5A 晶体管	
		FX_{2N}—8EYT—H	8 点 DC 24V/1A 晶体管	
		FX_{2N}—16EYR	16 点继电器	0/16
		FX_{2N}—16EYT	16 点 DC 24V/0.5A 晶体管	
		FX_{2N}—16EYS	16 点晶闸管	
		FX_{2N}—16EYT—C	16 点 DC 24V/0.3A 晶体管(插头连接)	
I/O 混合	FX_{0N}—8ER		4 点输入/4 点继电器	8/8
	FX_{2N}—8ER		4 点输入/4 点继电器	
模拟量	FX_{0N}—3A(特殊模块)		2/1 通道模拟量(2 输入/1 输出)	8

c. 扩展原则。每个 FX_{1N} 基本单元只安装 1 块内置扩展板；不消耗基本单元的 DC 24V；模拟量 I/O 扩展板消耗基本单元的 DC 5V；通信接口扩展板不占 I/O 点，但消耗基本单元的 DC 5V。

每 1 台 FX_{1N} 系列 PLC 可接 I/O 扩展单元不超过 2 只；扩展单元与基本单元一样连接 I/O 扩展模块与特殊模块（网络模块），1 个扩展单元连接的模块，I/O 不超过 32 点，FX_{1N} 扩展后 I/O 不超过 128 点；扩展单元需要外部提供电源，不消耗基本单元的 DC 24/5V，还可为该扩展单元的其他模块提供 DC 24/5V 电源；如基本单元 DC 24V/5V 电源不能满足扩展选件需要，或 I/O 扩展点大于 32 点，应选配扩展单元。

d. 扩展单元，见表 7-25。由扩展电缆与 FX_{1N} 基本单元或 I/O 扩展单元连接。FX_{1N} 基本单元或每一扩展单元连接的扩展模块，I/O≤32 点，含特殊模块占用点，FX_{1N} 扩展后 I/O 不超过 128 点。

表 7-25　FX_{1N} 系列 PLC 的输入输出扩展单元

型号		名称与功能	外部输入电源	占 I/O 点
FX_{0N}	FX_{0N}—40ER	24 点 DC 24V 输入/16 点输出	AC 100/200V	24/16
	FX_{0N}—40ET	24 点 DC 24V 输入/16 点输出		
	FX_{0N}—40ER—D	24 点 DC 24V 输入/16 点输出	DC 24V	
FX_{2N}	FX_{2N}—32ER	16 点 DC 24V 输入/16 点输出	AC 100/200V	16/16
	FX_{2N}—32ET	16 点 DC 24V 输入/16 点输出		
	FX_{2N}—32ES	16 点 DC 24V 输入/16 点输出		
	FX_{2N}—48ER	24 点 DC 24V 输入/24 点输出		24/24
	FX_{2N}—48ET	24 点 DC 24V 输入/24 点输出		
	FX_{2N}—48ER—UA1/UL	24 点 AC100V 输入/24 点输出		
	FX_{2N}—48ER—D	24 点 DC 24V 输入/24 点输出	DC 24V	
	FX_{2N}—48ET—D	24 点 DC 24V 输入/24 点输出		

e. 扩展距离。同 FX_{2N}。

f. 网络主站。不能同时作 CC-Link 网络主站与 AS-i 网主站；AS-i 主站模块只能用 1 只。当 FX_{1N} 作主站时，对所链接远程 I/O、远程设备数、最大传输距离有限制；当 FX_{1N} 作网络从站接入其他 PLC 网络时，链接 FX_{1N} 数量与最大传输距离等与网络主站有关。

6. FX_{3U} 系列

FX_{3U} 系列 PLC 采用基本单元 + 扩展结构，见图 7-39，通信网络功能强。基本单元规格与电源要求见表 7-26。可兼容 FX_{2N} 全部 I/O 扩展单元与特殊模块，基本单元 I/O 不超过 256 点，通过远程 I/O 链接 I/O 不超过 384 点；

有 RS—422 与 USB 接口模块；基本单元内置高速 I/O 点接收 100kHz 脉冲，包括 3 通道（轴）高速输出可控制独立的 3 轴简易定位控制，输出脉冲不超过 100kHz；由 FX_{3U}—20SSC—H 光缆连接 SSCNET Ⅲ网络定位模块，可连接 MR—J3 系列伺服驱动器，见图 7-40；基本单元全部开关量输入及晶体管输出可用源与汇点输出。

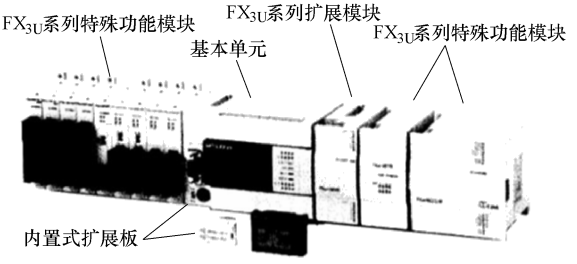


图 7-39　FX_{3U} 系列 PLC 的构成

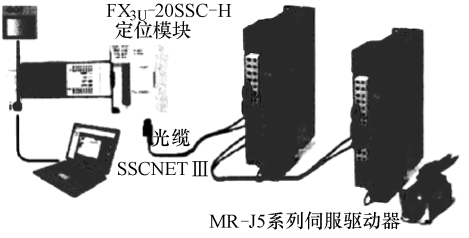


图 7-40　FX_{3U} 网络定位控制功能

表 7-26　FX_{3U} 系列 PLC 的基本单元规格与电源要求

型号	输入		输出		输入电源	
	点数	规格	点数	形式	额定值	电压范围
FX_{3U}—16MR/ES	8	DC 24V	8	继电器	AC 100/200V	AC 85～264V
FX_{3U}—16MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—16MT/ESS				晶体管源		
FX_{3U}—32MR/ES	16		16	继电器		
FX_{3U}—32MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—32MT/ESS				晶体管源		
FX_{3U}—48MR/ES	24		24	继电器	AC 100/200V	AC 85～264V
FX_{3U}—48MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—48MT/ESS				晶体管源		

（续）

型号	输入		输出		输入电源	
	点数	规格	点数	形式	额定值	电压范围
FX_{3U}—64MR/ES	32	DC 24V	32	继电器	AC 100/200V	AC 85 ~ 264V
FX_{3U}—64MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—64MT/ESS				晶体管源		
FX_{3U}—80MR/ES	40		40	继电器		
FX_{3U}—80MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—80MT/ESS				晶体管源		
FX_{3U}—128MR/ES	64		64	继电器		
FX_{3U}—128MT/ES				晶体管汇点		
FX_{3U}—128MT/ESS				晶体管源		
FX_{3U}—16MR/DS	8		8	继电器	DC 24V	DC 16.8 ~ 28.8V
FX_{3U}—16MT/DS				晶体管汇点		
FX_{3U}—16MT/DSS				晶体管源		
FX_{3U}—32MR/DS	16		16	继电器		
FX_{3U}—32MT/DS				晶体管汇点		
FX_{3U}—32MT/DSS				晶体管源		
FX_{3U}—48MR/DS	24		24	继电器	DC 24V	DC 16.8 ~ 28.8V
FX_{3U}—48MT/DS				晶体管汇点		
FX_{3U}—48MT/DSS				晶体管源		
FX_{3U}—64MR/DS	32		32	继电器		
FX_{3U}—64MT/DS				晶体管汇点		
FX_{3U}—64MT/DSS				晶体管源		
FX_{3U}—80MR/DS	40		40	继电器		
FX_{3U}—80MT/DS				晶体管汇点		
FX_{3U}—80MT/DSS				晶体管源		

（1）型号与规格　基本单元有16、32、48、64、80、128等规格，每一规格分为AC 100/200V、DC 24V电源输入及继电器、晶体管输出，开关量输入与晶体管输出可用汇点输出与源输出。

（2）基本性能

①编程功能。见表7-27。

表7-27　FX_{3U}系列PLC的编程功能

项目	功　　能
编程语言	指令表、梯形图、SFC
用户存储器容量	64 000步
指令	基本指令27条;SFC指令2条;功能指令209种,486条

（续）

项目		功　　能
速度/(μs/条)		基本指令 0.065；功能指令 0.642
I/O 点数		≤384 点
辅助继电器	一般用	M0 ~ M499
	保持型	M500 ~ M 7 679
	特殊用	M 8 000 ~ M 8 511
状态原件	初始状态	S0 ~ S9
	一般状态	S10 ~ S499
	保持区域	S500 ~ S 4 095
定时器	100ms	T0 ~ T199，T250 ~ T255
	10ms	T200 ~ T245
	1ms	T246 ~ T249，T256 ~ T511
计数器	16 位通用	C0 ~ C99(加)
	16 位保持	C100 ~ C199(加)
	32 位通用	C200 ~ C219(加减)
	32 位保持	C220 ~ C234(加减)
	32 位高速	C235 ~ C255，可使用 8 点(加减)
数据寄存器	16 位通用	D0 ~ D199
	16 位保持	D200 ~ D 7 999
	文件寄存器	D 1 000 ~ D 7 999区域参数设计，最大7 000点
	16 位特殊	D 8 000 ~ D 8 511
	16 位变址	V0 ~ V7，Z0 ~ Z7
指针	跳转用	P0 ~ P 4 095
嵌套	主控用	N0 ~ N7
常数	十进制	16 位：-32 768 ~ +32 767；32 位： -2 147 483 648 ~ +2 147 483 647
	十六进制	16 位：0 ~ FFFF；32 位：0 ~ FFFFFFFF

② 高速计数与脉冲输出。高速计数输入模块 FX_{3U}—4HSX—ADP、输出模块 FX_{3U}—2HSY—ADP，计数脉冲输入、输出达 200 kHz；用 FX_{2N}—10PG 高速脉冲输出模块，输出频率 1MHz。

③ 通信与网络。配 USB 接口扩展板 FX_{3U}—USB—BD，同时 3 个通信端口通信，还可实现 CC—Link、CC—Link/LT、MELSEC—I/O Link、AS—i 网络主从站功能。

④ 特殊模块。通信适配器模块与 FX_{3U} 系列内置式功能扩展板，可用 FX_{2N} 全部特殊模块。

（3）连接要求　DC 24V 开关量输入用汇点/源通用输入，通过公共端 S/S 转换。传感器电源 DC 24V 容量小，PLC 开关量输入电源与传感器电源用外部电源，不建议用 DC 24V 连接端“24V”。

① 汇点输入。对 AC 100/200V 供电的 PLC，DC 24V 电源输出端“24V”可

作为开关量输入电源，直接将开关量输入端“S/S”接传感器电源输出“24V”；开关量输入另一端在外部汇总后，接 PLC 传感器电源“0V”端；对 DC 24V 供电的 PLC，传感器电源端“24V”不可用，输入端“S/S”应接外部电源“DC 24V”，输入另一端在外部汇总后接外部电源的“0V”，见图 7-41。

② 源输入。如图 7-42 所示，AC 100/200V 供电时，传感器电源端“24V”直接作输入驱动，输入端“S/S”接 PLC 传感器电源“0V”端；对 DC 24V 供电的 PLC，传感器电源端“24V”不可作为输入电源，输入端“S/S”接外部电源“0V”端，电源端汇总后接外部电源“24V”端。

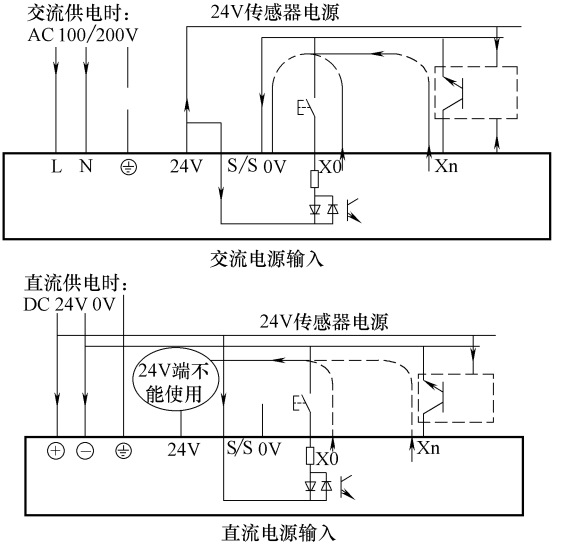


图 7-41　FX_{3U}的汇点输入连接

③ 晶体管源输出。FX_{3U}系列 PLC 的新增规格，见图 7-43，驱动负载的 DC 24V 电流必须由外供，输出能力为 0.5A/1 点、0.8A/4 点或 1.6A/8 点。

（4）扩展性能　有专用内置功能扩展板与通信接口模块，见图 7-44。I/O 点、扩展选件配置限制条件，见图 7-45。

① 本地 I/O 点。本地 I/O 不超过 256 点；内置扩展板、网络扩展模块、特殊模块计入 I/O 点；基本单元与扩展选件 I/O 以 8 点计。

② 远程 I/O 点。通过 CC-Link 主站模块链接时，CC-Link 主站模块链接的 I/O 不超过 224 点；本地与远程 I/O 之和不超过 384 点。

③ 扩展单元。如图 7-46 所示，内置功能扩展板最多 1 块；I/O 扩展单

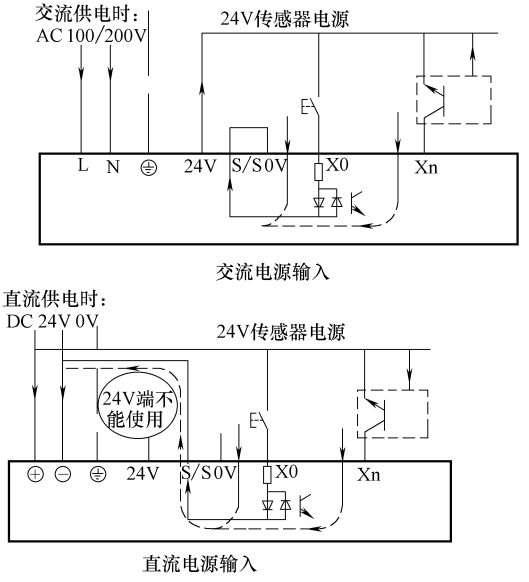


图 7-42　FX_{3U}的源输入连接

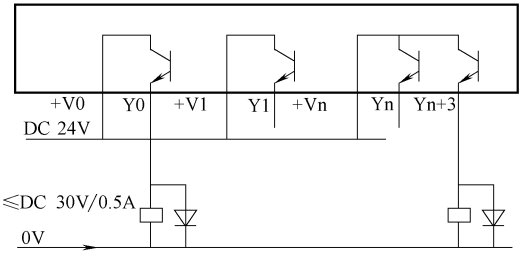


图 7-43　晶体管源输出连接

元与 I/O 扩展模块自由安装，但受 I/O 点总数与电源容量限制。

④ 特殊模块与安装。FX_{3U}系列特殊模块不超过 10 只，FX_{2N}系列特殊模块不超过 8 只；FX_{3U}—4HSX—ADP 不超过 2 只，FX_{3U}—2HSY—ADP 不超过 2 只，FX_{2N}—1RM—E—SET 不超过 3 只；AS—i 主站模块，整个 PLC 只能 1 只；安装其他特殊模块与网络模块总数不超过 8 只。安装在 PLC 最后位置，使用多只时从最后位置依次前排，包括 FX_{2N}—1RM—E—SET、FX_{0N}—3A、FX_{2N}—2AD、FX_{2N}—2DA、FX_{3U}—4HSX—ADP、FX_{3U}—2HSY—ADP。

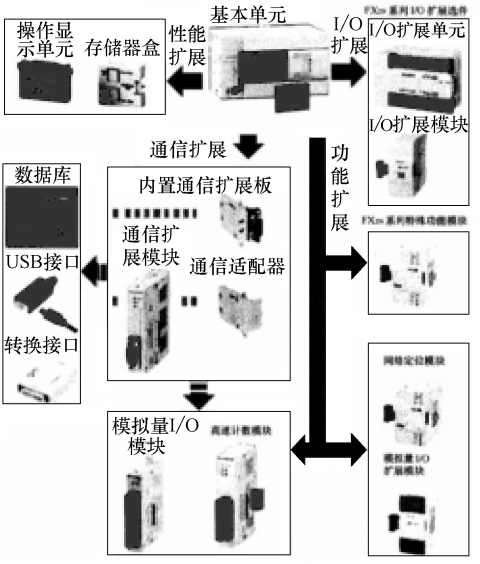


图 7-44　FX_{3U} 系列 PLC 的扩展性能

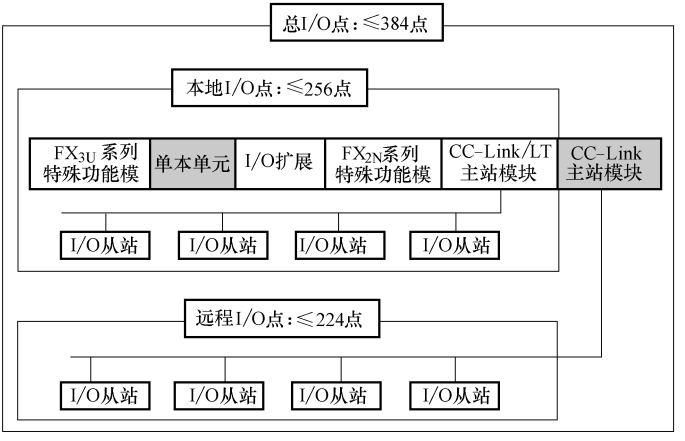


图 7-45　FX_{3U} 系列 PLC 的 I/O 点限制

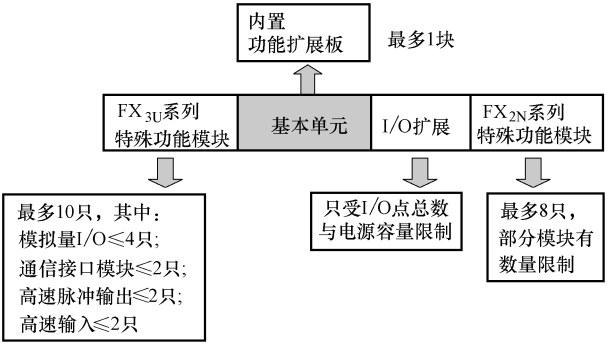


图 7-46　FX_{3U}系列 PLC 的扩展单元配置

⑤ 扩展距离。同 FX_{2N}。

⑥ 网络主站。当 FX_{3U}作主站构成分布式 PLC 系统或 PLC 网络时，FX_{3U}不能同时作 CC-Link 网络与 AS-i 网络主站；AS-i 主站模块只能用 1 只；FX_{3U}作网络主站时，对所链接远程 I/O 模块（I/O 从站）和远程设备（PLC、变频器等）数量、最大传输距离限制；当 FX_{3U}作网络从站接其他 PLC 网络系统时，链接 FX_{3U}数量与最大传输距离等与网络主站有关。

（5）电源

1）DC 24V。FX_{3U}—16M/FX_{3U}—32M 可提供 400mA；FX_{3U}—48M/FX_{3U}—64M/FX_{3U}—80M/FX_{3U}—128M 可提供 600mA；FX_{2N}—32E 单元可提供 250mA；FX_{2N}—48E 单元可提供 460mA。DC 24V 用于传感器，扩展模块使用后，外部输出容量减小。

2）DC 5V。FX_{3U}基本单元可提供 500mA；FX_{2N}—32E/FX_{2N}—48E 每一单元可提供 690mA。

3）DC 24/5V。部分扩展模块直接用外部 DC 24V；但如将模块电源接 PLC 的 DC 24V 传感器电源端，计入 DC 24V 消耗。基本和扩展单元 DC 24/5V 容量必须大于全部扩展选件的 DC 24/5V 实际消耗。

（6）扩展单元

1）I/O 扩展。FX_{3U}系列 PLC 的基本单元直接安装内置扩展板，型号与规格见表 7-28。

2）网络扩展模块。可用 FX_{2N}系列 PLC 的全部网络扩展模块，FX_{3U}可作为分布式 PLC 系统主站，链接远程 I/O 模块（I/O 从站），构成分布式 PLC 系统；也可链接其他 PLC、变频器等远程设备构成简单的 PLC 网络。选

配网络从站模块，FX_{3U}作 CC-Link 网络从站链接到 PLC 网络。

表 7-28　FX_{3U}系列内置扩展选件

型　号		名称
内置式扩展板	FX_{3U}—232—BD	RS—232 通信扩展板
	FX_{3U}—485—BD	RS—485 通信扩展板
	FX_{3U}—422—BD	RS—422 通信扩展板
	FX_{3U}—USB—BD	USB 通信扩展板
	FX_{3U}—CNV—BD	FX_{0N}通信适配器
性能扩展选件	FX_{3U}—FLROM—16	16 000步闪存卡
	FX_{3U}—FLROM—64	64 000步闪存卡
	FX_{3U}—FLROM—64L	带程序传送功能的64 000步闪存卡
	FX_{3U}—7DM	显示器
附件	FX_{3U}—7DM—HLD	显示器安装支架
	FX_{3U}—32BL	PLC 电池单元
	FX_{3U}—30EC	300mm 扩展电缆
	FX_{3U}—65EC	650mm 扩展电缆
	FX_{3U}—CNV—BC	扩展模块延长电缆接口适配器

3）特殊模块。FX_{2N}系列 PLC 的特殊模块安装于基本单元右侧，占 I/O 点；特殊适配器在基本单元左侧安装，不占 I/O 点；可直接用外部 DC 24V 电源。FX_{3U}系列 PLC 的特殊功能扩展模块见表 7-29。

表 7-29　FX_{3U}系列 PLC 的特殊功能扩展模块

型号	扩展模块名称与功能	占 I/O 点
FX_{3U}—4AD	4 通道模拟量输入	8
FX_{3U}—4DA	4 通道模拟量输出	
FX_{3U}—20SSC—H	SSCNET—Ⅲ网络控制定位	
FX_{3U}—232ADP	RS—232 通信	—
FX_{3U}—485ADP	RS—485 通信	
FX_{3U}—4AD—ADP	4 通道模拟量输入	
FX_{3U}—4AD—ADP	4 通道模拟量输出	
FX_{3U}—4AD—PT—ADP	4 通道 Pt100 温度传感器	
FX_{3U}—4AD—TC—ADP	4 通道热电偶温度传感器	
FX_{3U}—4HSX—ADP	4 通道高速计数输入	
FX_{3U}—2HSY—ADP	2 通道高速脉冲输出	

第四节　三菱 FX 系列可编程序控制器的基本指令

一、基本指令

基本指令（见表 7-30）可认为是简易编程器键盘上的指令，全部是逻辑指令。

表 7-30　FX_{2N} 系列 PLC 的基本指令

符号	功能	电路和元件
LD	运算开始	X、Y、M、S、T、C
LDI	运算开始	X、Y、M、S、T、C
LDP	上升沿检测运算开始	X、Y、M、S、T、C
LDF	下升沿检测运算开始	X、Y、M、S、T、C
AND	串联	X、Y、M、S、T、C
ANI	串联	X、Y、M、S、T、C
ANDP	上升沿检测串联	X、Y、M、S、T、C
ANDF	下降沿检测串联	X、Y、M、S、T、C
OR	并联	X、Y、M、S、T、C
ORI	并联	X、Y、M、S、T、C
ORP	上升沿检测并联	X、Y、M、S、T、C
ORF	下降沿检测并联	X、Y、M、S、T、C

（续）

符号	功能	电路和元件
ANB	块串联	
ORB	块并联	
OUT	线圈驱动	Y、M、S、T、C
SET	线圈动作保持	SET YMS
RST	动作保持解除	RST YMSTCD
PLS	上升沿检测线圈	PLS YM
PLF	下降沿检测线圈	PLF YM
MC	主控电路块	MC N YM
MCR	主控电路块	MCR N
MPS	进栈	MPS
MRD	读栈	
MPP	出栈	
INV	运算结果取反	INV
NOP	空操作	程序清除或空格用
END	程序结束	程序结束，返回 0 步

注意：表中指令有对应的操作元件，但 ANB、ORB、MPS、MRD、MPP、INV、NOP、END 指令没有操作元件。

二、元件与编程

1. 定时器 T

（1）基本定时　T 为通电延时，时间单位与 PLC 型号、定时器号相关，如 FX_{2N} 系列 PLC 的 T0 ~ T199、停电保持累积型 T250 ~ T255 的精度为 100ms；T200 ~ T245 精度为 10ms；停电保持累积型 T246 ~ T249 的精度为 1ms。STMR 指令可一次性得到通电延时断开、断电延时断开等形式的定时器触点。

1）非保持型。图 7-47 中设定值为 K300，延时时间为 10ms × 300 = 3s。当 X22→ON 且保持时间大于 3s 时，则 T200 触点 ON，Y0 = 1；X22 = 0 时 Y0 断开。如 X22 为 ON 的时间小于 3s，则 Y0 不动作。

2）保持型。计时值不能由驱动线圈触点断开清除，由 RST 清除计时值、断开触点；保持型计时累计，线圈驱动为“1”的输入均计时。图 7-48 中 T250 为 100ms 保持型，3s 延时设定值为 K30，T250 线圈驱动条件 X22 为 ON 即计时；如计时中 X22 为 OFF 或 PLC 掉电，停止计时，当前计时值仍保留；X22 再 ON 计时继续；当累计计时到 3s，T250 触点接通，Y1 = 1。如需

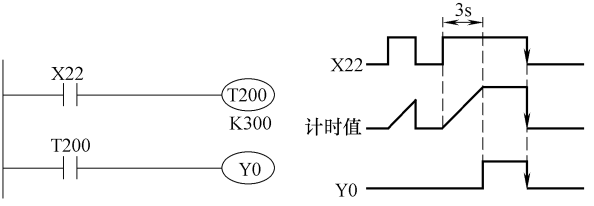


图 7-47　非保持型定时器编程示例

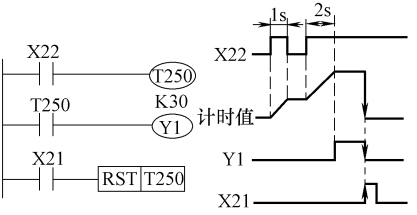


图 7-48　保持型定时器编程示例

断开 Y1，必须使 T250 的复位输入 X21 = 1，清除计时值。T 在复位期间，即使 X22 = 1，也不能启动定时器。

3）延时断开控制编程示例图 7-49。

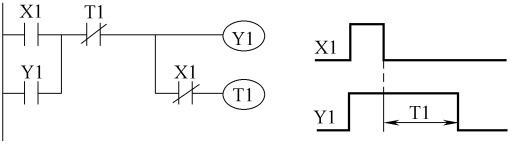


图 7-49　延时断开控制编程示例

4）定时通/断控制编程示例。如图 7-50 所示，改变 T1 与 T2 的延时可调节 Y1 通/断时间。

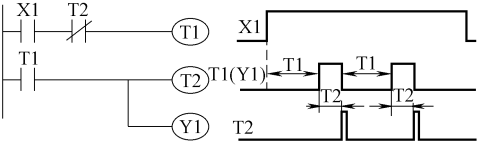


图 7-50　定时通/断控制编程示例

（2）定时功能扩展

1）STMR 扩展。STMR 可断电延时断开、通电延时接通、通电延时断开、信号整体延时等。如图 7-51 所示，STMR 指令最后 1 个操作数指定的是其他定时触点输出起始地址，图中 M0，执行 STMR 指令可在该地址起的连续 4 点，M0 ~ M3 得到 4 种延时触点。

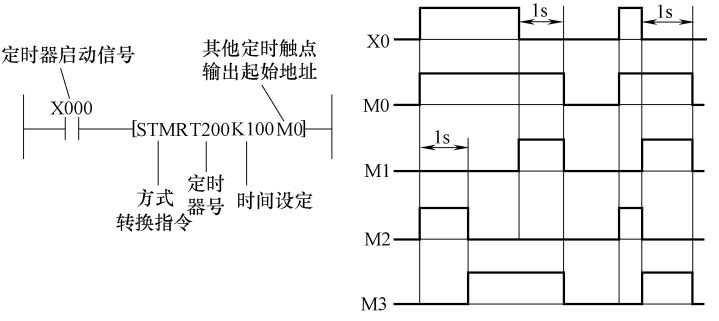


图 7-51　延时方式的转换

2）实时调节时间。FX 系列 PLC 的模拟电位器有时间调节功能，“模拟电位器”是调节电位器直接输入，将阻值 A-D 转成数字量，实时调节时间。FX_{1S}/FX_{1N}系列 PLC 采用 10 只模拟电位器，2 只为基本单元内置，8 只需要选配内置扩展板 FX_{1N}—8AV—BD，见图 7-52，基本单元内置 VR1/VR2 的 A-D 转换器，不需要编程；用 FX_{2N}—8AV—BD 的 8 只电位器，由 VRRD 进行 A-D 转换。电位器分辨率为 1/256，结果为 0 ~ 255。FX_{2N}选配 FX_{2N}—8AV—BD，用 8 只模拟电位器；FX_{3U}无模拟电位器选件。

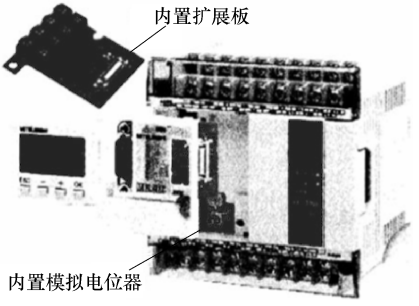


图 7-52　模拟电位器的安装

3）按键调节。FX 系列 PLC 采用按键实时调节，执行 TTMR 指令实际改变 D。时间设定值即为按键保持“1”的时间。K = 0 时，时间设定值与按键保持时间之比为 1∶1；K = 1 时，设定值是按键保持时间的 10 倍；K = 2 时是 100 倍。

2. 计数器 C

计数器 C0 ~ C99、C100 ~ C199（停电保持型）为 16 位增计数；C200 ~ C219、C220 ~ C234（停电保持型）为 32 位加减计数；C235 ~ C255 高速输入计数。32 位计数器计数值到达设定值后继续计数。

（1）基本型

1）计数特性。通用计数器 C 由触点作计数输入。高速计数器 C 必须采用基本单元的高速输入端，可处理单相或两相计数输入信号，由相应指令直接复位/启动控制；普通计数器 C 线圈输入端子既是线圈工作条件也是计数输入；高速计数器 C 计数信号必须从高速输入端输入，线圈输入是工作条件。

2）计数输入。触点脉冲输入、上升沿有效。通用计数器 C 计数输入用触点计数；高速计数器 C 必须采用基本单元高速输入点 X0 ~ X5，X6 ~ X7

作高速计数的启动与复位。

3）计数增/减。单相高速计数器 C2□□增/减由 M82□□控制，C246 ~ C255 当前计数方式由 M 8 246 ~ M 8 255检查。

4）计数器复位。由 RST 清除当前值、断开计数器触点，高速计数器 C 还可直接用外部输入端复位，复位端子与高速 C 计数器对应。

5）启动/停止控制。普通计数器 C 通过指令控制计数器的启动与停止，高速计数器 C 计数信号来自指定的高速输入，由程序对计数器 C 线圈或外部端 S 的控制，控制计数器 C 的启动与停止。

6）非保持型计数器。如图 7-53 所示，X1 计数输入，X0 复位，计数值为 5。如 X0 = 0，X1 每次上升沿 C0 当前计数加 1，到计数值 5 时，C0 触点接通，再输入信号计数值不变，如 X0 = 1，C0 当前值清除，触点断开。

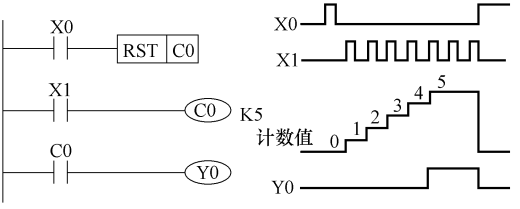


图 7-53　非保持型计数器编程示例

7）保持型计数器。如图 7-54 所示。X1 计数输入、X0 复位、X2 控制计数方向，设定值为 - 5。如图 7-55 所示 X0 = 0 且 X2 = 0 时，X1 每次上升沿 C200 当前值加 1；X2 = 1 时，X1 每次上升沿 C200 当前值减 1；计数值大于 - 5 时 C200 触点接通；如 X0 = 1，C200 当前计数值清零、触点断开。只要不复位输入，停电保持型 C 计数值和触点状态如 PLC 断电时仍保持，电源再接通时当前计数值继续加。

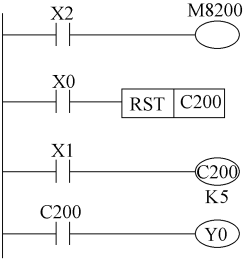


图 7-54　保持型计数器编程示例

（2）高速型

1）输入端。基本单元输入端 X0 ~ X7，X6 和 X7 是启动端，FX_{3U} 系列 PLC 可通过选件实现。高速计数器的输入功能、最高计数频率见表 7-31、表 7-32。

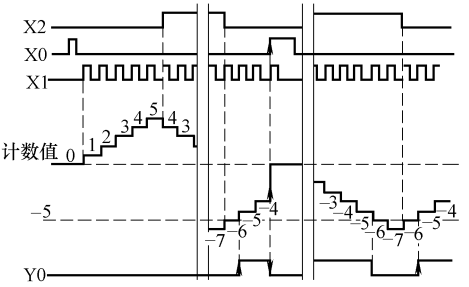


图 7-55　保持型计数器的工作过程

表 7-31　单相高速输入计数器

高速输入端	不使用复位信号						使用复位信号				
	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245
X0	U/D						U/D			U/D	
X1		U/D					R			R	
X2			U/D					U/D			U/D
X3				U/D				R	U/D		R
X4					U/D				R		
X5						U/D					
X6										S	
X7											S
最高计数频率 $FX_{1S/1N}$	60kHz		10kHz				10kHz				
最高计数频率 FX_{2N}	60kHz		10kHz				10kHz				
最高计数频率 FX_{3U}	100kHz						40kHz				

注：U/D—计数输入；R—复位输入；S—启动输入。

表 7-32　两相高速输入计数器

高速输入	增减脉冲输入					90°相位差脉冲输入				
	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X0	U	U		U		A	A		A	
X1	D	D		D		B	B		B	
X2		R		R			R		R	
X3			U		U			A		A
X4			D		D			B		B
X5			R		R			R		R
X6				S					S	
X7					S					S

（续）

高速输入		增减脉冲输入					90°相位差脉冲输入				
		C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
最高计数频率	$FX_{1S/1N}$	30kHz	10kHz				15kHz	5kHz			
	FX_{2N}	60kHz	10kHz				30kHz	5kHz			
	FX_{3U}	100kHz	40kHz				50kHz	40kHz			

注：U—增计数；D—减计数；A—A 相输入；B—B 相输入；R—复位；S—启动。

2）编程。高速计数器 C 线圈控制端是线圈工作条件；外部启动输入控制端 S 的 C244/C245、C249/C250、C254/C255，只有在两者同时为“1”时计数启动；对用外部复位输入端 R 的 C241～C245，如有计数器 RST，只要复位输入为“1”时，C 复位；触点只能在计数脉冲输入时才动作，如无计数信号输入，即便满足触点动作条件触点也不接通。

图 7-56a 中计数输入 X0，X22 是 C235 的工作条件，X22 = 1 时启动 X0 计数，X22 = 0 时停止计数；X20 控制 M 8 235实现增/减计数。X21 = 1 时 C235 复位。图 7-56b 中 C241 可外部复位输入，计数输入 X0，外部复位 X1；X20→控制 M 8 241实现增/减计数，C241 在 X22 = 1 时启动对高速输入 X0 计数，X22 = 0 时停止计数；X1 = 1 时外部复位。图 7-56c 中，C246 为增/减输入计数，X0 增、X1 减计数端；C246 在 X22 = 1 时启动对输入 X0、X1 计数，X22 = 0 时停止计数；当 X21 = 1 时计数复位。图 7-56d 中 C251 为用 A/

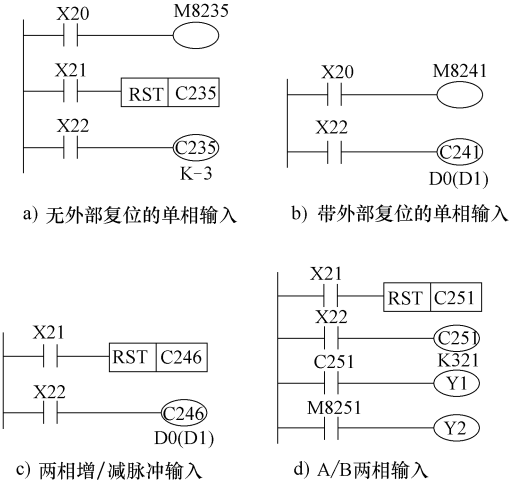


图 7-56　高速输入计数器的编程

B 两相 90°相位差脉冲输入；X0 为 A 相脉冲输入，X1 为 B 相脉冲输入；C251 在 X22 = 1 时启动并对 X0、X1 计数，X22 = 0 时停止计数；当 X21 = 1 时高速计数复位；M8251 为 C251 当前计数状态指示，如 A 相超前 B 相(增)，M 8 251为“0”，反之为“1”。

（3）高速计数控制　内置高速计数器 C，计数到达后即输出处理，FX 系列 PLC 的高速置位/复位指令 HSCS/HSCR、高速区间比较指令 HSZ 输出不受扫描周期的影响，但硬件计数转换为软件处理，计数频率见表 7-33。

表 7-33　高速计数指令的计数频率

应用指令		单相输入计数/kHz		两相增/减脉冲输入/kHz		90°相位差脉冲输入/kHz	
		C235、C236	C237 ~ C245	C246	C247 ~ C250	C251	C252 ~ C255
HSCS/HSCR/SPD	FX_{1S}/FX_{1N}	30	10	30	10	15	5
	FX_{2N}	10	10	10	10	5	4
	FX_{3U}	40	40	40	40	40	40
HSZ	FX_{1S}/FX_{1N}	—	—	—	—	—	—
	FX_{2N}	5.5	5.5	5.5	5.5	4	4
	FX_{3U}	≤40(决定于指令使用次数)					

1）高速置位/复位指令 HSCS/HSCR：用于计数器比较与输出直接控制。如图 7-57 所示，HSCS 计数值到1 000时 Y0 = 1；HSCR 计数值到2 000时 Y0 = 0。

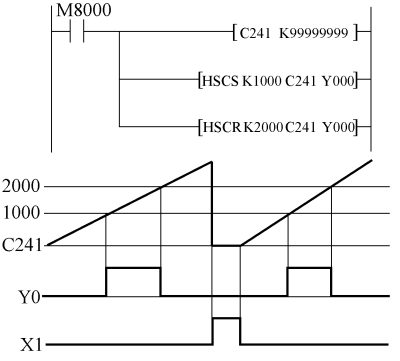


图 7-57　高速置位/复位指令

2）高速比较指令 HSZ：如图 7-58 所示，操作数设定比较区间，第 1、2 操作数为比较下、上限，有 3 个连续输出。Y0 为计数值小于下限时输出，

Y1、Y2 为计数值在区间范围内计数值大于上限时输出。

3）速度测量指令 SPD：“脉冲密度”指令，计算单位时间内输入脉冲数，实时测量以位置脉冲输出的装置速度，见图 7-59，X10 为速度测量信号，SPD 操作数 X0 定义高速脉冲输入端，采样时间 K1000（ms），D0 存储结果，输出脉冲数。X10 = 1 启动采样，PLC 开始高速输入 X0；采样时间到 1 000ms，计数值到 D0，同时计数值清零，重新开始累计输入脉冲。

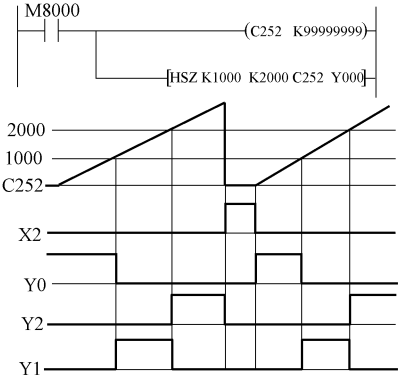


图 7-58　高速比较指令

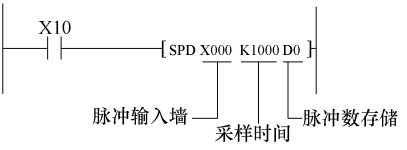


图 7-59　速度测量指令的编程

（4）高速计数与定位控制　通过基本单元高速 I/O 点，利用内置高速计数器 C、定位指令编程与控制，也可用专门扩展模块。基本单高速 I/O 点有 6 ~ 8 点输入及 2 ~ 4 点输出，计数输入频率不大于 40kHz，脉冲输出频率不大于 100kHz。I/O 点可能被输入中断、矩阵扫描等占用，部分定位指令使用次数受限制。

高速计数与定位控制扩展选件是基本单元高速计数/脉冲输出功能的扩展，用于计数频率 200kHz、脉冲输出频率 1MHz、I/O 在 2 ~ 16 点的高速计数与多轴、有轮廓控制（插补）定位控制。FX 系列 PLC 高速计数与定位控制扩展选件见表 7-34。

高速计数与定位模块用于 FX_{2N}/FX_{3U} 系列 PLC，独立安装，模块带存储器，计数与定位控制在模块中实现。位置单元自带 CPU 和存储器控制单元，独立运行，需要配备专门的编程软件。与伺服驱动器等装置配套，可组成闭环位置控制系统。

表 7-34　FX 系列 PLC 高速计数与定位控制扩展选件

类别	型号与名称	功能	最大安装数			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
外置式功能扩展板	FX_{3U}—4HSX—ADP	4 点 200kHz 高速计数输入，DC 5V 输入	×	×	×	2
	FX_{3U}—2HSY—ADP	4 点 200kHz 高速脉冲输出，DC 5V 驱动输出	×	×	×	2
特殊功能模块	FX_{2N}—1HC 2 点高速计数输入/2 点计数器输出	2 点 50kHz 高速计数输入，DC 5/12/24V 光耦合器输入，90° 相位差 A/B 脉冲输入可使用 2 倍频/4 倍频功能；2 点集电极开路计数器输出	×	8		
	FX_{2N}—1PG 单轴控制定位	2 点 100kHz 集电极开路高速定位脉冲输出（正/反转脉冲或脉冲/方向输出）；清零信号 CLR 输出；STOP/DOG 控制信号 + 零脉冲 PGO 输入	×	8		
	FX_{2N}—10PG 单轴控制定位	2 点 1MHz 线驱动高速定位脉冲输出（正/反转脉冲或脉冲/方向输出）；清零信号 CLR 输出；STOP/DOG 控制信号 + 零脉冲 PGO 输入；2 点 30kHz 线驱动手轮输入	×	8		
位置控制单元	FX_{2N}—10GM 单轴位置控制单元	200kHz 线驱动高速定位脉冲输出（正/反转脉冲或脉冲/方向输出）；存储器容量 3.8KB，cod 指令 13 条、逻辑指令 11 条、应用指令 29 条。位置控制输入，10 点（START/STOP/DOG 等）；零脉冲输入，1 点 PG0；清零输出：1 点 CLR；通用 I/O，4/6 点，不可连接 I/O 扩展单元	×	8		

（续）

类别	型号与名称	功能	最大安装数			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
位置控制单元	FX_{2N}—20GM 单轴位置控制单元	双轴控制，200 kHz 线驱动高速定位脉冲输出（正/反转脉冲或脉冲/方向输出）；存储器容量 7.8 KB，cod 指令 19 条、逻辑指令 11 条、应用指令 30 条。位置控制输入，每轴 10 点（START/STOP/DOG 等）；零脉冲 PG0 输入，每轴 1 点；清零 CLR 输出，每轴 1 点；通用 I/O，8/8 点，可连接 I/O 扩展模块扩展 48 点	×	8		
	FX_{2N}—1RM—SET 转角检测单元	专用电子凸轮控制器，带操作面板，可独立使用，最大电子凸轮输出 48 点；需配套专门编码器与 FX_{2N} 系列扩展模块	×	×	3	3

1）FX_{3U}—4HSX—ADP。外置高速计数输入功能扩展板，直接安装于基本单元左侧，见图 7-60 。该扩展板使用后高速计数输入频率 200kHz。每一

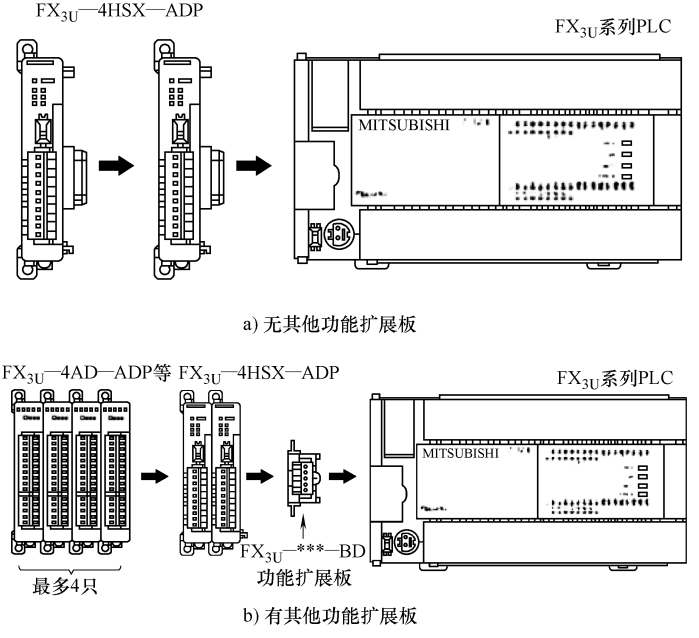


图 7-60　FX_{3U}—4HSX—ADP 的安装方式

高速计数输入功能扩展板有 4 通道线驱动输入接口与高速计数电路，第 1 扩展板输入固定 X0/X1/X2/X6，第 2 块扩展板输入固定 X3/X4/X5/X7。使用扩展板后基本单元 X0 ~ X7 不再作他用。其技术性能见表 7-35，模块 DC 24V 与 DC 5V 由基本单元提供。输入连接见图 7-61，每一输入点 X0/X1/X2/X6 或 X3/X4/X5/X7 有 X□□ + 与 X□□-2 个连接端。使用 FX_{3U}—4HSX—ADP 后，FX_{3U} 的 C235 ~ C255 输入见表 7-36、表 7-37。

表 7-35　FX_{3U}—4HSX—ADP 的技术性能

内容	参　数	备　注
输入点	每一扩展板 4 点,最多安装 2 块	输入地址固定
输入电压	DC 5V 脉冲	线驱动接口，与 AM26C32 相当
最高输入频率	脉冲 + 方向输入或加/减脉冲输入,200kHz; 90°相位差脉冲输入,100kHz	
电源	DC 24V/30mA,DC 5V/30mA	需要基本单元提供

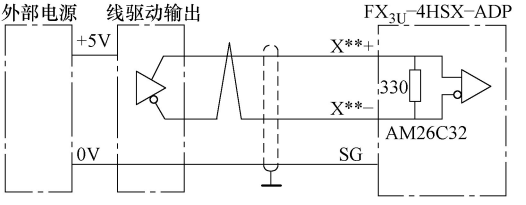


图 7-61　FX_{3U}—4HSX—ADP 的输入连接

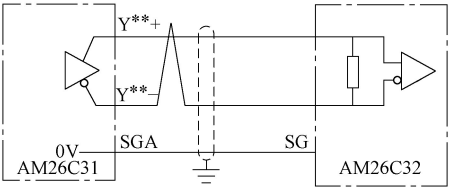


图 7-62　FX_{3U}—2HSY—ADP 的输出连接

2）FX_{3U}—2HSY—ADP。外置高速脉冲输出功能扩展板，安装方法同 FX_{3U}—4HSX—ADP。该扩展板使用后，高速脉冲输出点扩展到 Y0 ~ Y7，脉冲输出频率为 200kHz。每一高速脉冲输出功能扩展板有 4 通道线驱动输出

电路，第 1 扩展板输出固定 Y0 ~ Y4，第 2 块扩展板输出固定 Y2 ~ Y7。使用扩展板后基本单元 Y0 ~ Y7 不再作他用。其技术性能见表 7-38，DC 24V 与 DC 5V 需要由基本单元提供。脉冲输出连接见图 7-62，每一输出点 Y0/Y1/Y3/Y4 或 Y2/Y3/Y6/Y7 有“Y +”与“Y -”2 个连接端。FX_{3U}—4HSX—ADP、FX_{3U}—2HSY—ADP 的高速计数器号、编程方法、输出相同。

表 7-36　单相高速输入计数器

输入地址		不使用复位信号						使用复位信号				
第 1 扩展板	第 2 扩展板	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245
X0	—	U/D						U/D			U/D	
X1	—		U/D					R			R	
X2	—			U/D					U/D			U/D
—	X3				U/D				R	U/D		R
—	X4					U/D				R		
—	X5						U/D					
X6	—										S	
—	X7											S

注：U/D—计数输入；R—复位；S—启动。

表 7-37　两相高速输入计数器

输入地址		不使用复位信号					使用复位信号				
第 1 扩展板	第 2 扩展板	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X0	—	U	U		U		A	A		A	
X1	—	D	D		D		B	B		B	
X2	—		R		R			R		R	
—	X3			U		U			A		A
—	X4			D		D			B		B
—	X5			R		R			R		R
X6	—				S					S	
—	X7					S					S

注：U—增计数；D—减计数；A—A 相输入；B—B 相输入；R—复位；S—启动。

表 7-38　FX_{3U}—2HSY—ADP 的技术性能

项目	参数	备注
输出点	每一扩展板 4 点，最多安装 2 块	输出地址固定
输出电压	DC 5V 脉冲	线驱动输出，与 AM26C31 相当
最高输出频率	200kHz	
输出形式	脉冲 + 方向输出或正/反转脉冲输出	
电源	DC 24V/60mA，DC 5V/30mA	需基本单元

（5）计数模式

1）单相输入。脉冲+方向输入时，输入 B 接计数脉冲输入，输入 A 如计数模式选“硬件计数”（BFM#0=8 或 9），输入 A 是计数方向控制，输入“OFF”为加计数、“ON”减计数；如计数模式选“软件方向控制计数”（BFM#0=10 或 11），输入 A 无效，计数方向 BFM#1=0 为加计数、BFM#1=1 为减计数。加/减脉冲输入时（BFM#0=5 或 6），输入 A 为加计数、输入 B 减计数。

2）两相输入。用 90°相位差 A/B 两相脉冲输入时，如 A 相输入超前 B 相输入 90°为加计数，如 B 相输入超前 A 相输入 90°为减计数，计数脉冲在模块内可倍频处理，BFM#0=0 或 1，倍频无效，加计数时 B 相上升沿计数，减计数时 B 相下降沿计数，见图 7-63a；BFM#0=2 或 3，2 倍频处理，B 相上升/下降沿同时作为加/减计数输入，见图 7-63b；BFM#0=4 或 5，4 倍频处理，A/B 两相输入上升/下降沿作为计数输入，见图 7-63c

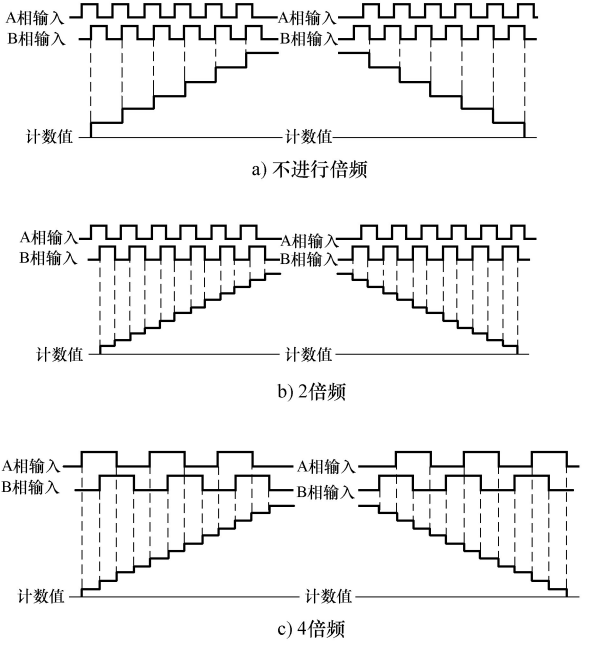


图 7-63　90°相位差脉冲输入计数特性

（6）编程　TO 向模块 BFM 写命令、FROM 读 BFM 参数。计数模式的选择见表 7-39。

表 7-39　计数模式的选择

BFM 设定	计数输入	倍频处理	双向计数类型	计数范围
0	90°相位差 A/B 脉冲输入	无	32 位	32 位，-2 147 483 648 ~ 2 147 483 647；16 位，0 ~ 65 535
1			16 位	
2		2 倍频	32 位	
3			16 位	
4		4 倍频	32 位	
5			16 位	
6	加/减脉冲输入	无	32 位	
7			16 位	
8	脉冲 + 方向输入		32 位	
9			16 位	
10	脉冲输入 + 软件方向控制		32 位	
11			16 位	

3. 辅助继电器 M

（1）功能特殊辅助继电器 M　PLC 状态用特殊辅助继电器 M 见表 7-40；时钟用特殊辅助继电器 M 见表 7-41；标志用特殊辅助继电器 M 见表 7-42。

表 7-40　状态用特殊辅助继电器 M

编号	名称	备注	功能
M8000	运行监控	RUN 时 ON	显示系统运行
M8001		RUN 时 OFF	
M8002	初始脉冲	RUN 后 ON 一个周期即为 OFF	开机运行状态清零、参数设置等
M8003		与 M8002 状态相反	
M8004	出错	M8060 ~ M8067 检出，除 M8062	
M8005	电池电压低	锂电池电压下降	更换锂电池
M8006		电压下降保持	
M8007	瞬停检测		
M8008	停电检测		
M8009	DC 24V 失电	检测 DC 24V 电源异常	

表 7-41　时钟用特殊辅助继电器 M

编号	名称		备注		编程
M8010					
M8011	时钟	10ms	周期振荡	10ms	直接编程
M8012		100ms		100ms	
M8013		1s		1s	
M8014		1min		1min	

表 7-42 标志用特殊辅助继电器 M

编号	标记名称	备注	编程
M8020	零	功能指令运算标记	状态用于直接编程
M8021	借位		
M8022	进位		
M8025	HSC 模式		

（2）常用驱动线圈特殊辅助继电器 M　PLC 工作方式特殊辅助继电器 M 见表 7-43；线圈编程执行中断禁止特殊辅助继电器 M，见表 7-44。

表 7-43 工作方式特殊辅助继电器 M

编号	名称	备注
M8030	电池熄灯指令	关闭面板指示灯
M8031	非保持存储器清零	清除元件的 ON/OFF 当前值
M8032	保持存储器清零	
M8033	存储器保持停止	图像存储保持
M8034	所有输出禁止	外部输出全部 OFF
M8035	强制运行模式	END 指令后执行
M8036	强制运行指令	
M8037	强制停止指令	
M8038	通信参数设定	
M8039	恒定扫描方式	定周期运作

表 7-44 中断禁止特殊辅助继电器 M

编号	禁止名称	备注	编程
M8050	I00□	输入中断禁止	外部中断
M8051	I10□		
M8052	I20□		
M8053	I30□		
M8054	I40□		
M8055	I50□		
M8056	I60□	定时中断禁止	定时中断
M8057	I70□		
M8058	I80□		
M8059	I010 ~ I060	计数中断禁止	计数中断

4. 数据寄存器 D

通用数据寄存器 D0 ~ D199，写入数据不变，新写数据后原数据丢失，PLC 由 RUN→STOP 时，全部数据→0，如 M 8 033 = 1，数据保持；掉电保护

D200 ~ D511。两台 PLC 点对点通信时，D490 ~ D509 用作通信；停电保持专用 D512 ~ D 7 999，参数设置无法改变性质；参数设置可将 D1000 后最多 7 000点设为文件寄存器；D8000 ~ D8255 监控 PLC 元件运行方式，电源 ON 时写入初始化值，然后系统 ROM 安排写入初始值。状态监测特殊数据寄存器 D 见表 7-45，时钟状态监测特殊数据寄存器 D 见表 7-46。

表 7-45　PLC 状态监测特殊数据寄存器 D

编号	名称	备注	编程
D8000	监视定时器	初始值 200ms	
D8001	PLC 型号版本		
D8002	存储器容量		
D8003	存储器种类		
D8004	出错 M 地址	M8060 ~ M8067	
D8005	电池电压	0. 1V	
D8006	电池电压过低检测		
D8007	瞬停检测	电源关闭次数	用于编程检测
D8008	停电检测时间		
D8009	失电单元地址号	降低的起始输出编号	

表 7-46　时钟状态监测特殊数据寄存器 D

编号	名称	备注	作用
D8010	当前扫描值	0. 1 ms 单位包括扫描等待时间	直接用于编程
D8011	最小扫描时间		
D8012	最大扫描时间		
D8013	0 ~ 59s 预置值或当前值		
D8014	0 ~ 59min 预置值或当前值		
D8015	0 ~ 23h 预置值或当前值		
D8016	1 ~ 31d 预置值或当前值		
D8017	1 ~ 12 月预置值或当前值		
D8018	公历两位预置值或当前值		
D8019	星期 0 ~ 6 预置值或当前值		

5. 位组合数据

用 4 位 BCD 码表示 1 个十进制数。位元件，4 位组合表示 1 个十进制数。用 KnX、KnY、KnM、KnS 组合。如 K1X0 表示 X3 ~ X0 组合；K2X0 表示 X7 ~ X0 组合；K3Y0 表示 Y13 ~ Y0 组合；K4Y0 表示 Y17 ~ Y0 组合。

6. 变址寄存器

变址寄存器共 16 个，V0 ~ V7 和 Z0 ~ Z7，可组成 32 位变址寄存器，且最多组合 16 个，见图 7-64，变址寄存器的使用见图 7-65。

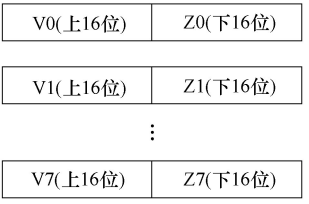


图 7-64　组合成 32 位变址寄存器

图 7-65　变址寄存器的使用

7. 程序跳转、子程序调用与循环指令

（1）指针　用作跳转、中断等程序入口，与跳转、子程序、中断程序等使用。P 用作跳转或调用子程序，I 用作中断。

1）分支指针 P。对 FX_{2N}分支指针有 P0 ~ P127，其中 P63 指向 END。指针号唯一，同 1 个指针号可作多个跳转目标。

图 7-66a 中，X1 = 1 时，跳到 P0，执行程序。图 7-66b 中，X1 = 1 时，执行 CALL 的标号 P1 位置子程序，以 SRET 返回原位置。

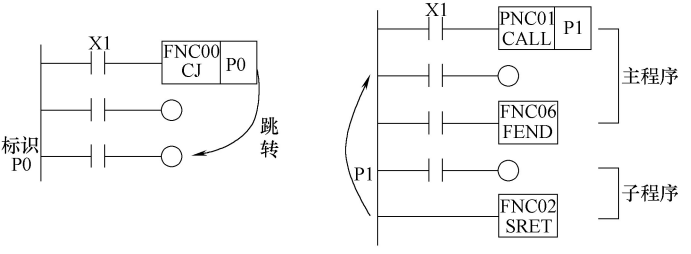


图 7-66　分支指针 P 的应用

2）条件跳转 CJ。满足条件时跳转至指针 P，图 7-67 中，X0 = 0，不执行跳转 CJ，继续执行 LD X1；X0 = 1 时，跳到 P1 处执行 LD X2。如跳转条件始终为“1”，则无条件发生转移。

用脉冲指令 CJP，上升沿执行 1 次；跳转目标如在 CJ 前，采用边沿信号，否则程序死循环；如跳转区域内用保持型 T 或 C，为清除 T、C，应将复位 RST 编制在跳转区域外，见图 7-68；当 CJ 与 MC/MCR 同时使用时，如跳转来自外部，但跳转目标在当前主控区域内，此时即使 MC = 0，跳转目标 P 后程序仍正常执行；如 CJ 在主控区域内，不论跳转目标在何处，只要

MC = 0 就不能执行跳转指令；如 CJ 在主控区域内，但跳转目标 P 在 MCR 之外，则 MCR 无效。

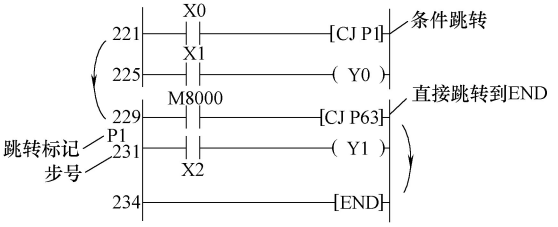
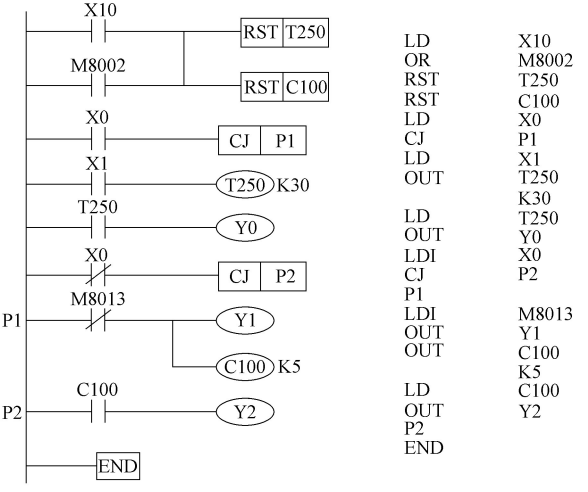


图 7-67　跳转指令的编程



a) 梯形图　　b) 指令表

图 7-68　保持型 T 和 C 的清除

（2）子程序调用　子程序用于程序中的重复执行，调用 CALL、返回 SRET，编程方法与 CJ 相同，跳转目标 P；SRET 返回子程序调用处。子程序号与跳转目标不能用相同的指针。子程序在主程序后，用 FEND 分隔；子程序调用时可脉冲执行 CALLP。可在 1 个子程序中再次调用其他子程序，即嵌套，见图 7-69，FX 系列 PLC 可嵌套 5 层。

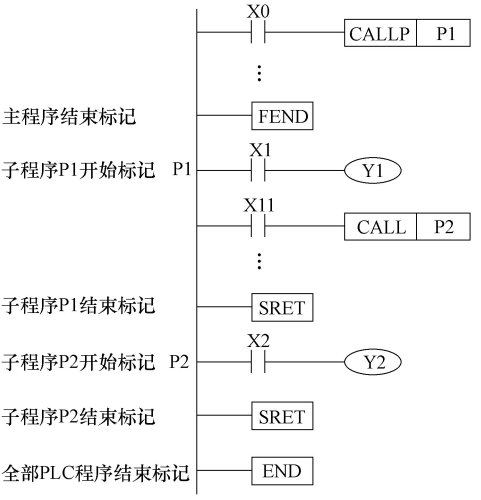


图 7-69　子程序的调用

（3）中断　根据条件立即停止执行正常程序，转入中断程序。中断是预先安排好的任务。执行结束后，从当前程序中断位置继续执行当前程序。SM = 0 时中断事件有效，SM = 1 时中断事件无效。中断程序结束 IRET，中断程序在 FEND 后。中断事件只能在 PLC 规定的中断方式下进行选择。中断方式分为外部中断、定时中断与计数中断。

1）中断指令。如图 7-70 所示，中断允许指令 EI 以下区域中断有效；中断禁止指令 DI 以下区域中断禁止。中断禁止时所有中断事件被 PLC 记忆，一旦程序执行到中断允许区域，中断立即生效。如需禁止中断，可通过特殊辅助继电器 M 禁止。

2）中断处理。中断事件由 CPU 监控。任何时刻只能执行 1 个中断，按照“时间优先”原则，PLC 自动中断排队；如同时发生，先处理编号小的事件，FX_{2N}系列 PLC 可处理二级中断。FX_{2N}与 FX_{3U}系列允许中断程序中 1 次嵌套。FX 系列中断程序中，外部中断 I00□（X0）~ I50□（X5）；定时器中断 I6□□ ~ I8□□；计数器中断 I010 ~ I060。中断方式见表 7-47。中断输入端不能再用于高速处理，每个输入端只能用 1 次。

3）输入中断。中断编号见表 7-48，接收输入端子 X000 ~ X005 的中断，不受扫描影响，同 1 个输入端不能同时上升沿与下降沿中断，例如：不能同

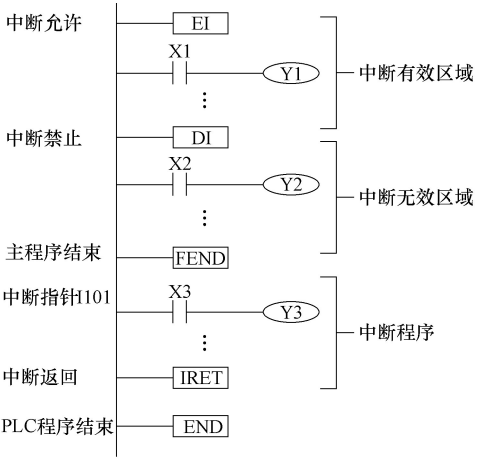


图 7-70　中断指令的编程

时用 I001 与 I000；高速计数输入、速度测量输入不能再作中断输入；输入中断由 M8050 ~ M8055 禁止；高速计数输入定义为中断信号，输入滤波时间自动变为最小值，REF 与 D 8020设定无效；如需要，在输入中断程序处理期间由 REF 进行 I/O 高速采样与刷新。如图 7-71 所示，X0 上升沿出现时 Y000 = 1，并直接读取 X010 的状态，作 Y002 输出。单通道高速计数输入可用高速计数器 C，按图 7-72 输入中断实现，假设高速脉冲输入 X000，数据寄存器加“1”，计数存至 D0。

表 7-47　FX 系列 PLC 的中断方式

输入中断用	定时器中断用	计数器中断用
I00□(X0) I10□(X1) I20□(X2) I30□(X3) I40□(X4) I50□(X5)	I6□□ I7□□ I8□□	I010 I020 I030 I040 I050 I060

表 7-48　外部输入中断事件中断编号

输入端子	上升沿中断	下降沿中断	有效性 SM	中断信号最小宽度/μs		
				FX_{1S}/FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
X000	I001	I000	M8050	10	20	5
X001	I101	I100	M8051			

（续）

输入端子	上升沿中断	下降沿中断	有效性 SM	中断信号最小宽度/μs		
				FX_{1S}/FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
X002	I201	I200	M8052	50	50	5
X003	I301	I300	M8053			
X004	I401	I400	M8054			
X005	I501	I500	M8055			

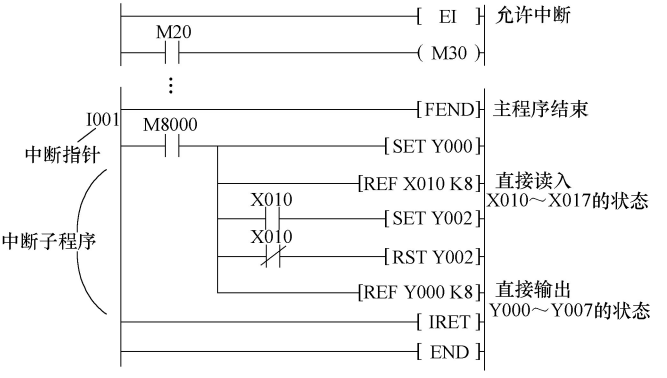


图 7-71　输入中断功能直接控制输出

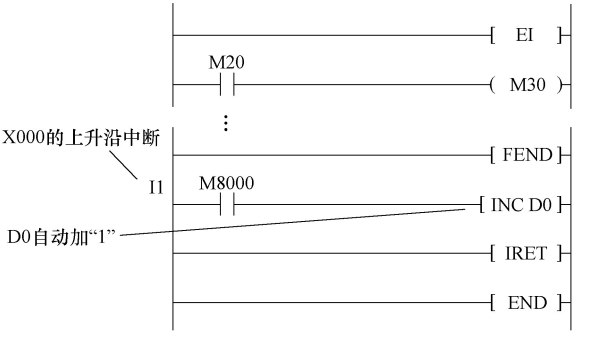


图 7-72　输入中断功能实现高速计数

图 7-73 为输入中断测量脉宽梯形图，测量输入信号“1”脉宽。同时接 X000 与 X001，分别用上升沿与下降沿。X010 = 1 时启动测量存储器 D0，单位为 1ms。如需脉冲精度为 0.1ms，则用 M8099 与 D8099。D8099 为 FX_{2N}/FX_{3U} 的 0.1ms 计时器（计数器），M8099 用于 D8099 启动，见图 7-74。

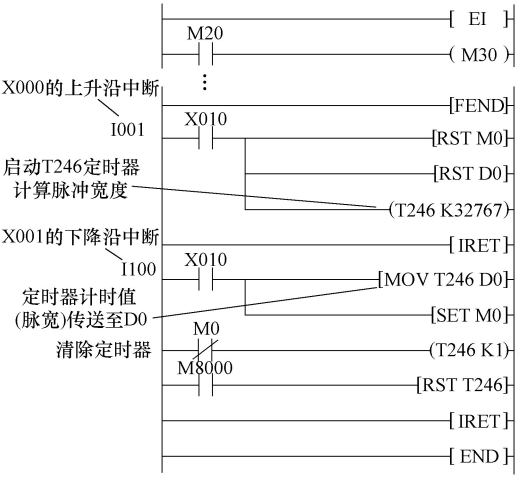


图 7-73　输入中断测量脉宽

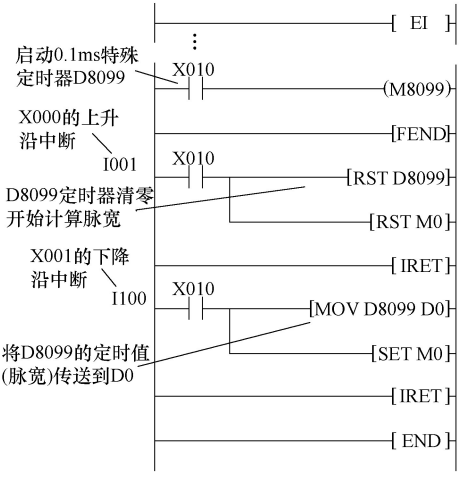


图 7-74　输入中断与特殊定时器测脉宽

4）定时器中断。每个只能用 1 次。由编号 6 ~ 8 专用定时器控制，IRET 返回，自动周期性中断。用于高速程序段处理、模拟量输入定时采样、模拟量输出刷新等。基准为 1ms 高速定时器或内部 0.1 ms 高速环形计数器 D 8 099。表 7-49 直接定义中断周期，由 M 8 056 ~ M 8 058 禁止中断。图 7-75 实现 10ms 定时中断，0X10 为定时器启动，D10 为最大计时值设定，定时器结果存至 D0。

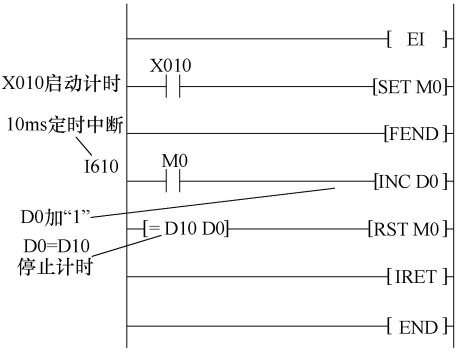


图 7-75　定时中断功能实现精确计时

表 7-49　定时器中断事件

事件编号	有效性 SM
I6□□	M 8 056
I7□□	M 8 057
I8□□	M 8 058

注：□□内表示 10 ~ 99ms。

5）高速计数器中断。与 HSCS 配合，在高速输入上升沿或下降沿实现中断处理。中断指针中最高位为输入地址，中间位为“0”，最低位为上升/下降沿标记。计数中断与 C235 ~ C255 及 DHSCS 同时使用，见图 7-76，高速计数器 C 计数到规定值时即处理中断程序。M 8 059 = 1 时，禁止中断，见表 7-50。

表 7-50　计数器中断事件

事件编号	有效性 SM
I010、I020、I030、I040、I050、I060	M 8 059

（4）循环指令　FOR ~ NEXT 之间程序循环执行，执行次数 n = 1 ~ 32 767，n 可用 K、D、Z/V 等。FOR ~ NEXT 循环可嵌套 5 层，见图 7-77。循环次数多会延长扫描时间，可能导致 PLC 定时监视出错；NEXT 不能在指令 FOR 前；FOR 与 NEXT 成对使用，NEXT 不能在 FEND、END 后。

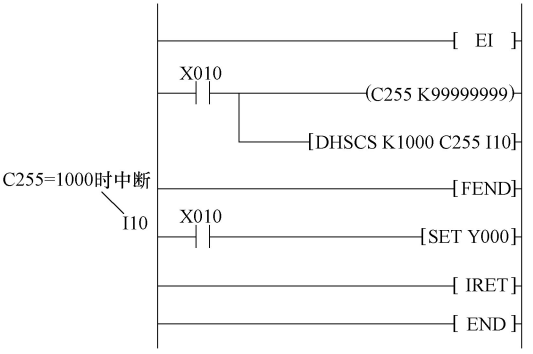


图 7-76　计数中断的编程

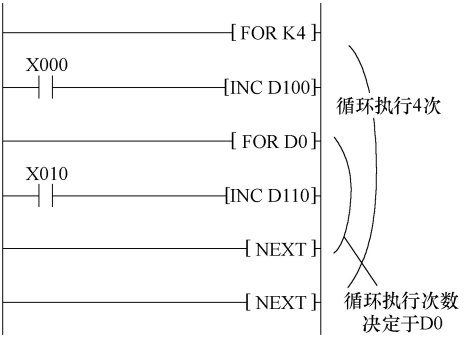


图 7-77　循环指令的编程

三、指令与编程

1. 基本指令

FX_{2N}系列 PLC 的基本指令见表 7-30。

2. 步进顺控指令

FX 系列 PLC 的步进顺控指令有两条，即步进开始指令 STL 和步进结束指令 RET。

（1）状态元件 S　初始状态 S0 ~ S9、回原点 S10 ~ S19，一般状态 S20 ~ S899，状态元件的 STL 触点由 SET 激活。

（2）状态转移图 SFC　图 7-78 对应的状态转移图见图 7-79。运行时，设法将某状态置“1”。FX 系列 PLC 常用 M 8 002使 S0 = 1，如激活 S21，同

时 S0 自动复位、状态转移。S21 激活后，驱动合模继电器动作，当合模到位后 X1 闭合→S21 复位，S22 = 1，顺序完成过程后回 S0。当前状态符合条件时转移；每个状态元件有断电记忆功能；可多状态、多分支、多汇合激活，多流程转移。

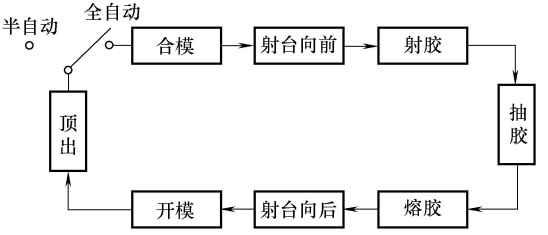


图 7-78　注塑机控制工序

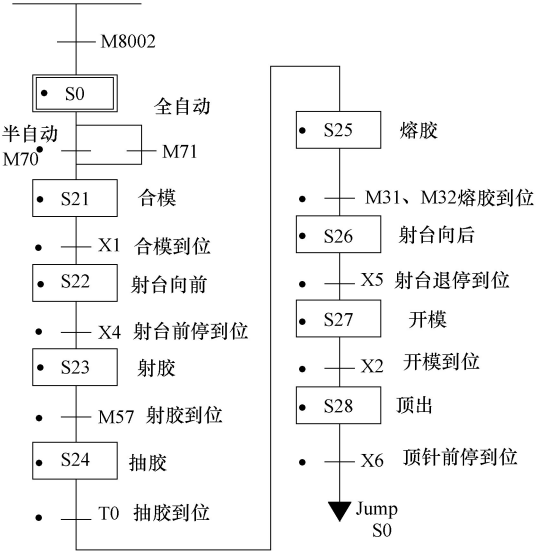


图 7-79　注塑机状态转移图

（3）梯形图与指令表　以五路流水灯为例，其程序由 Y0 ~ Y4 控制，启动 X0，停止 X1，间隔 1s 依次闪亮。其状态转移图见图 7-80，梯形图见图 7-81。

（4）类型及规则　单流程转移图见图 7-82；分支和同时处理转移图见

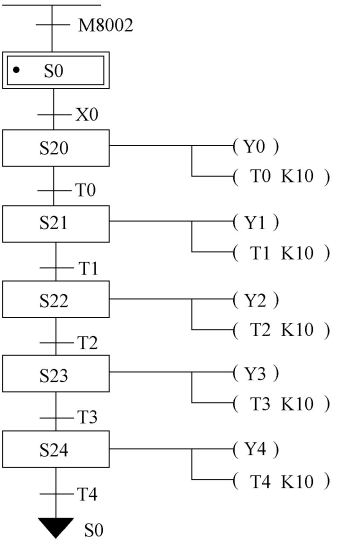


图 7-80　五路流水灯状态转移图

图 7-83、图 7-84；跳转与重复流程转移，向下直接转移和向外转移称为跳转，用↓表示转移方向，见图 7-85、图 7-86，向上转移称重复；分支与汇合的组合流程状态转移图，见图 7-87、图 7-88。

（5）SFC 规则

① 分支数的限制。S0 ~ S9 每一状态分支电路不超过 16 条，每一分支点分支数不超过 8 条，见图 7-89，不可直接从汇合线或汇合前状态向其他状态跳转或复位，必须设置虚拟状态。

② 分离程序流。多个初始状态的转移，按各初始状态分开编程，见图 7-90，从 S3 状态 S20 ~ S39 的 STL 结束后，再与下一个 S4 程序编制。这两部分分离程序流中，用 OUT 代替 SET 实现跳转。

③ 初始状态编程。如图 7-91 所示，初始 S0 ~ S9，编程时初始状态在其他状态前，STL 最后必须有 RET 指令。

④ 没有分支与汇合。状态转移典型状态见图 7-92，每个状态有驱动负载、转移条件、转移目标。可用状态转移图或步进梯形图。编程顺序先负载驱动，再转移处理。STL 指令位于主母线常开触头，在副母线直接接线圈或

通过触头驱动线圈，用 LD、LDI。返回原主母线用 RET。每次只考虑 1 个状态，不出现双线圈输出。状态顺序可自由选择，S 编号自由选择。

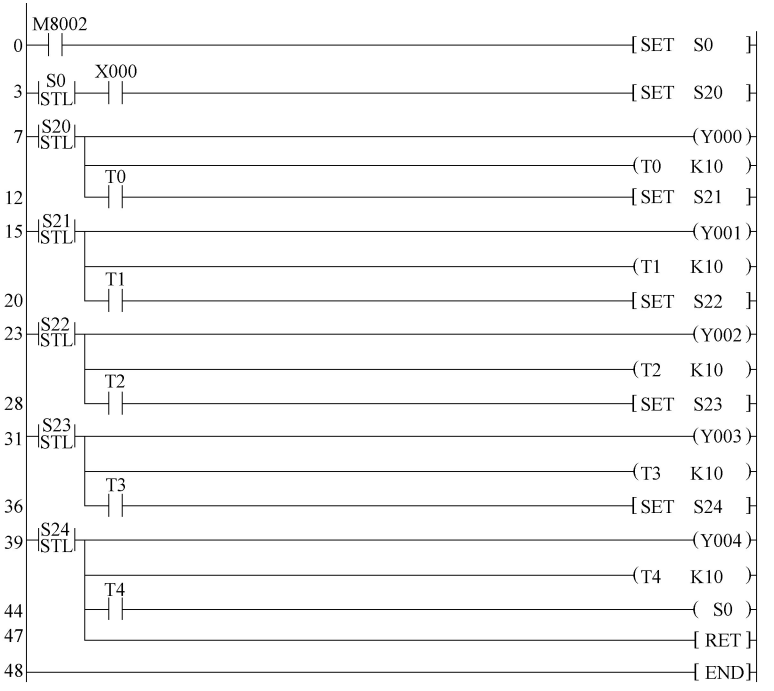


图 7-81　五路流水灯步进梯形图

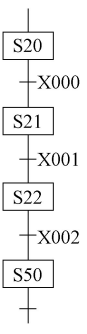
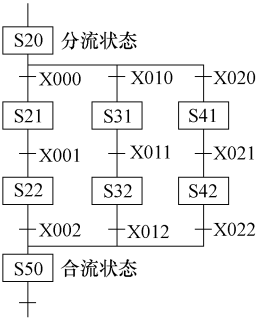


图 7-82　单流程转移图



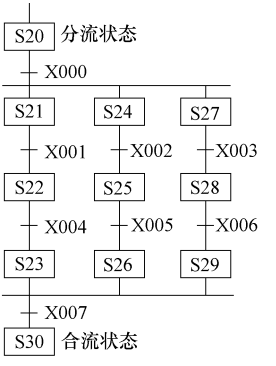


图 7-83　多工序选择分支

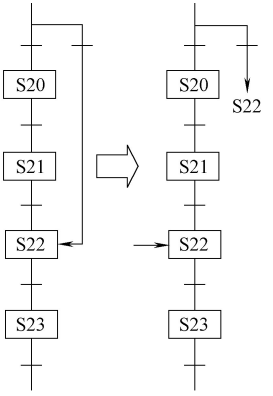


图 7-84　多工序并行分支

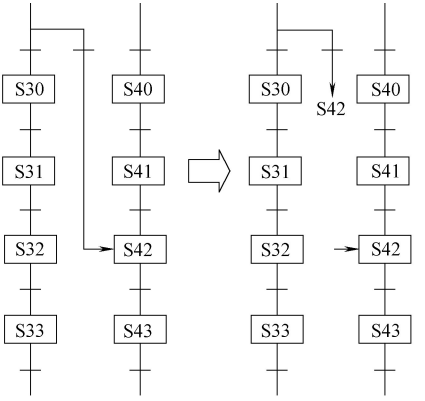


图 7-85　跳转流程状态转移图

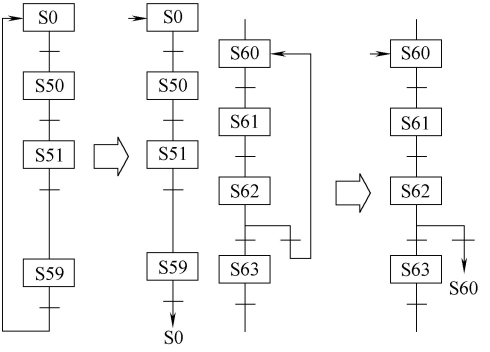


图 7-86　重复流程状态转移图

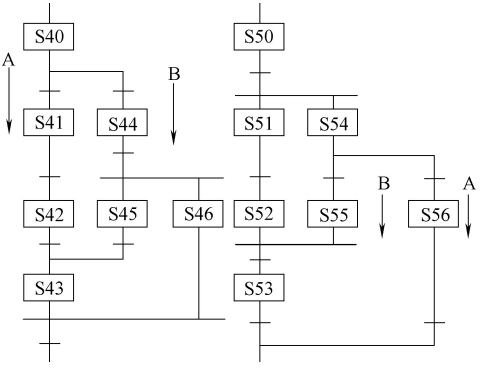


图 7-87　分支与汇合组合流程状态转移图 1

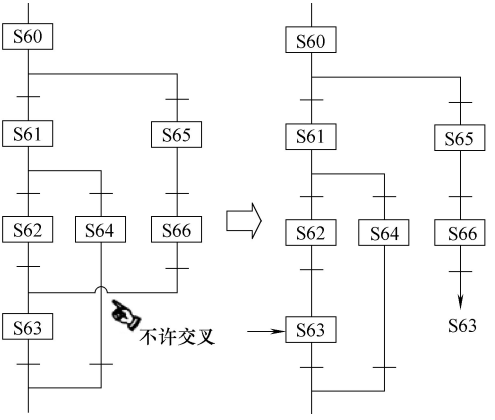


图 7-88　分支与汇合组合流程状态转移图 2

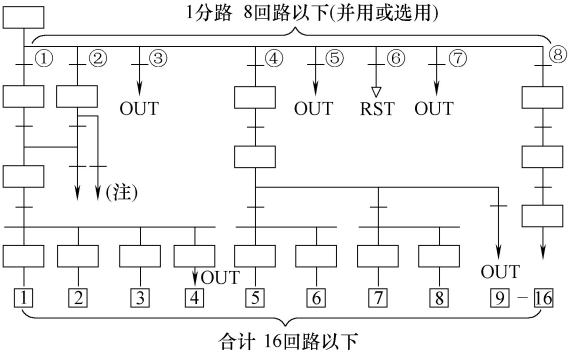


图 7-89　分支数的限制

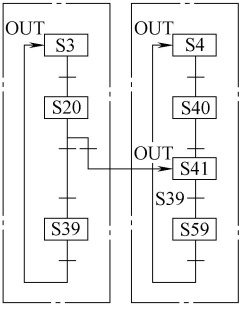


图 7-90　分离程序流

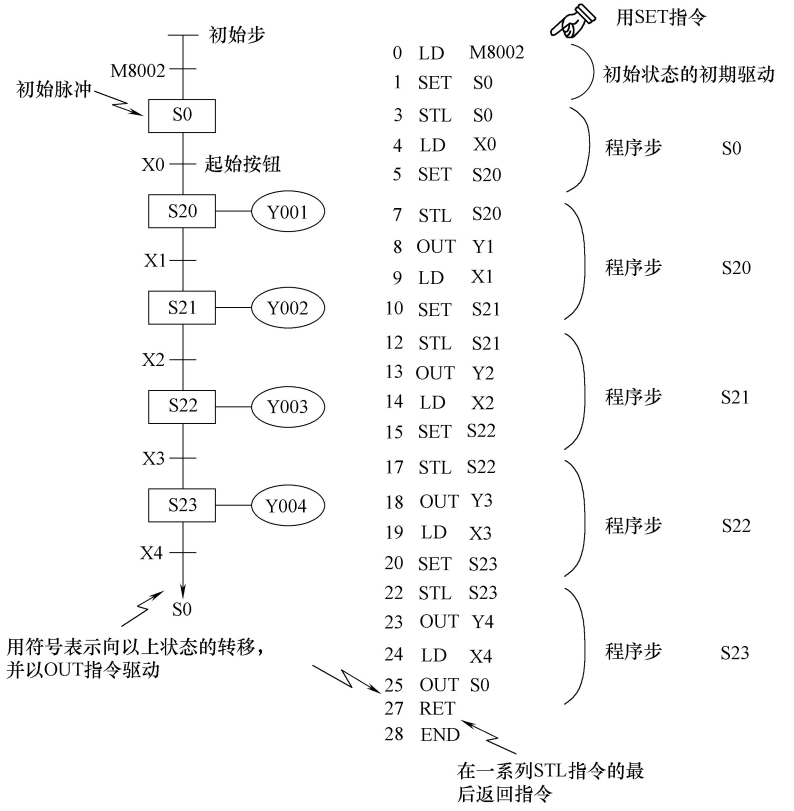
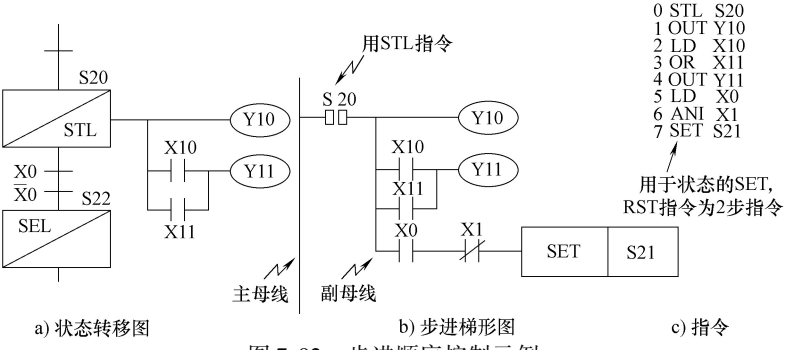


图 7-91　初始状态编程



a) 状态转移图　　b) 步进梯形图　　c) 指令

图 7-92　步进顺序控制示例

⑤ 跳转和复位处理，见图 7-93。状态可向流程外状态转移，见图 7-94。复位处理程序见图 7-95。

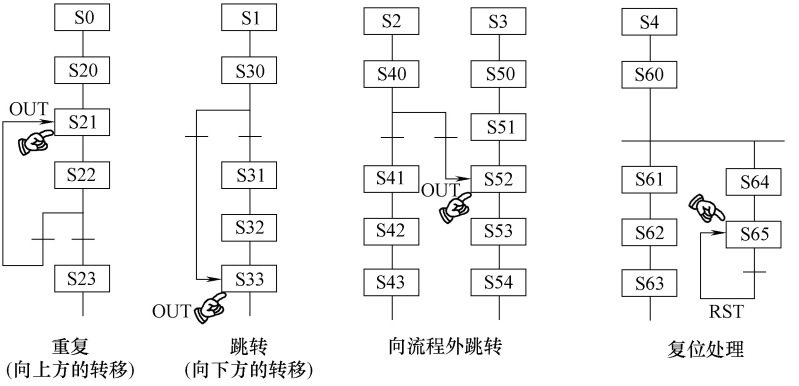


图 7-93　跳转和复位处理示例

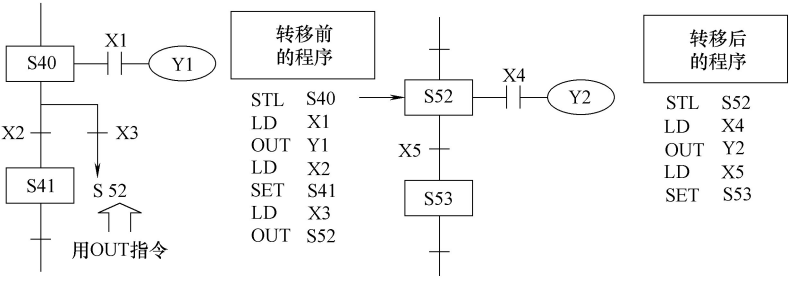


图 7-94　跳转处理程序

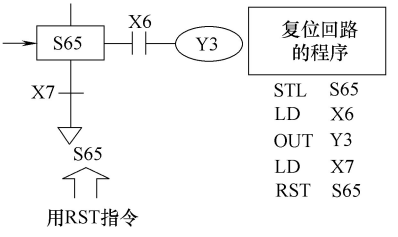


图 7-95　复位处理程序

⑥ 选择性分支和汇合。先驱动处理再设定转移条件，由左至右逐个编程，见图 7-96。先汇合前状态输出处理，然后向汇合状态转移，由左至右汇合，见图 7-97。

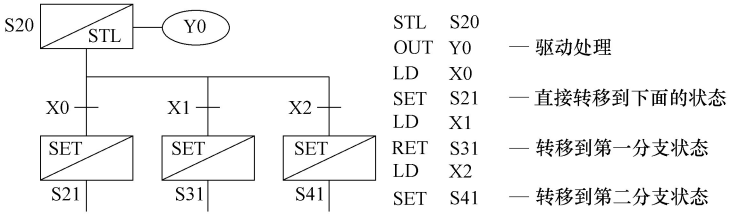


图 7-96　选择性分支编程

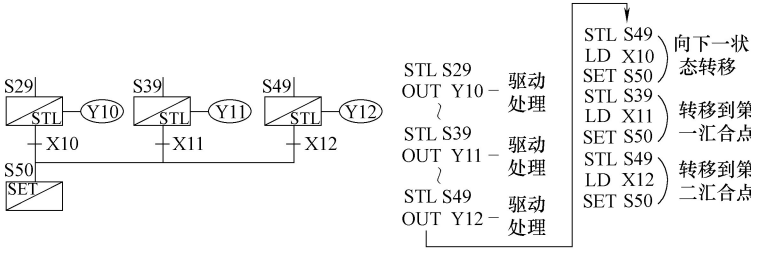


图 7-97　选择性汇合编程

⑦ 并行分支和汇合。先驱动再转移处理，依次由左至右，见图 7-98。并行汇合前先对各状态的输出分别编程，再由左至右汇合处理，见图 7-99。

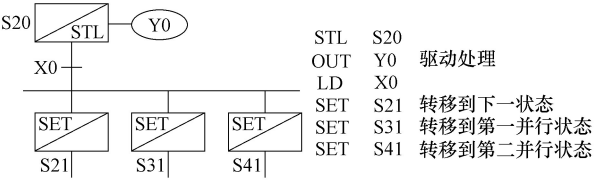


图 7-98　并行分支编程

⑧ 分支与汇合的组合。程序连续直接从汇合点转移到下一分支，没有中间状态，建议在图 7-100 加入虚设中间状态，S100 和 S103 的转移触点可省略。分支条件和汇合条件组合见图 7-101。

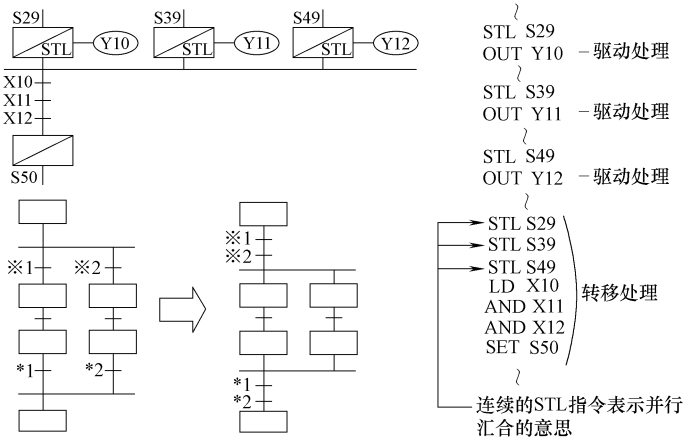


图 7-99　并行汇合

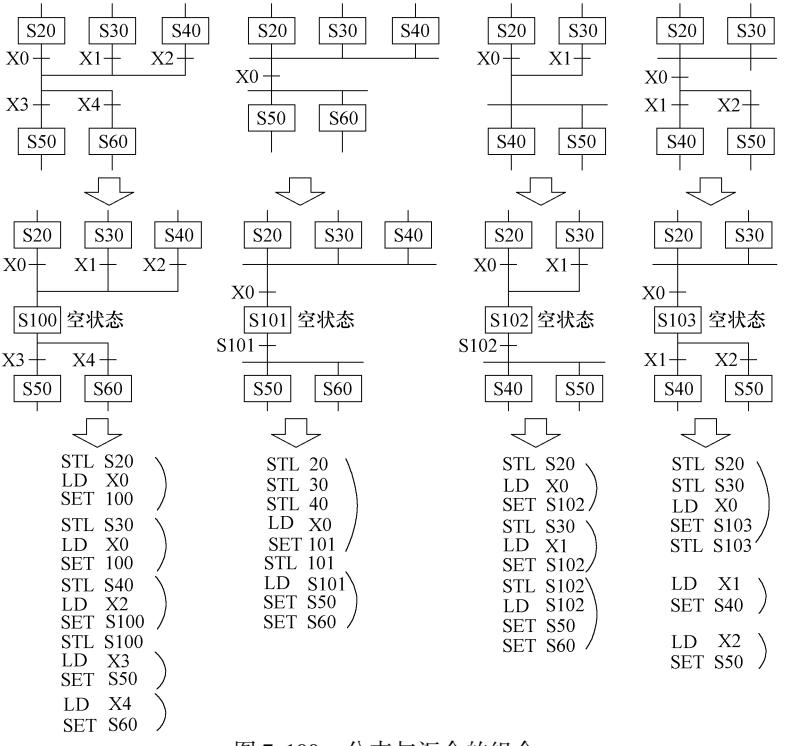


图 7-100　分支与汇合的组合

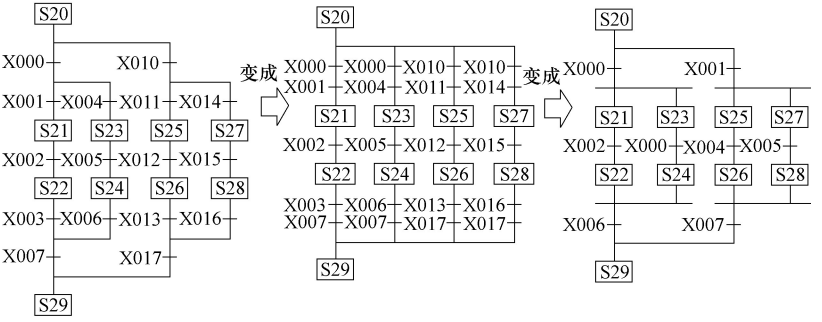


图 7-101　分支条件和汇合条件组合

四、编程语言与指令格式

1. 编程语言

FX 系列 PLC 的编程语言符合国际电工委员会 IEC1131-3 编程语言标准，具体表达形式各 PLC 品牌产品不同。其编程语言与指令示例见图 7-102 和图 7-103。

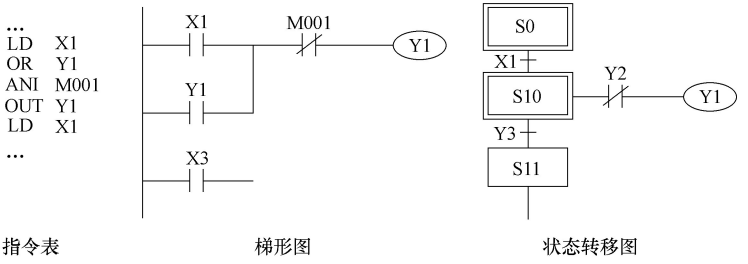


图 7-102　FX 系列 PLC 的编程语言

2. 地址与注释

当操作对象为地址时，FX 系列 PLC 用“地址符 + 数值”定义地址。地址符为英文字母，代表一类对象，如 X 为输入，Y 为输出，M 是辅助继电器等；数值是区分同类对象编号，如 X0、X1 等。地址指定了存储区域，CPU 可以直接识别，称为绝对地址或存储器地址。用绝对地址编写程序时需要地址对应或电气图与实际输入对

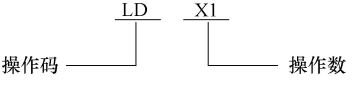


图 7-103　FX 系列 PLC 的指令

应，见图 7-104。

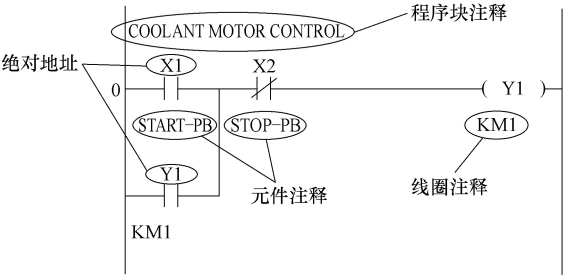


图 7-104　FX 系列 PLC 的注释功能

3. 常数

K 是十进制常数；H 是十六进制常数。FX_{3U} 系列 PLC 可用浮点数，地址符为 E，如 E12. 34 代表十进制常数“12. 34”。

第五节　三菱 FX 系列可编程序控制器的功能指令

一、功能指令

1. 形式

按 FNC00 ~ 295 编排，其示意图见图 7-105。其中 FNC45 助记符 MEAN 是取平均值指令，手持编程器键入编号，编程软件直接输入指令。S 为源操作数，若可用变址时，表示为“S·”，源多于 1 个时用“S_1·”、“S_2·”等。“D”为目标操作数，若可用变址时，表示为“D·”，目标多于 1 个时用“D_1·”、“D_2·”。“N”为指定取值个数，项目多时可用 N1、N2 等。

2. 位和字元件

位元件是指数据长度为 1 位的元件，如 X、Y、M 和 S；字元件是指数据长度为 16 位的元件，如 T、C 和 D。位元件可组合成字元件，见图 7-106。

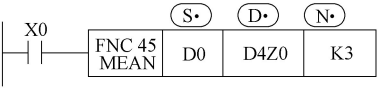


图 7-105　功能指令示意图

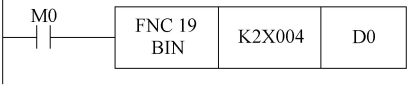


图 7-106　位元件组合成字元件示例

3. 变址寄存器 V、Z

如图 7-64 所示，在处理 32 位功能指令中的软元件或处理超过 16 位范围时，必须使用变址寄存器 V、Z。

处理 16 位指令时，可任意用 V 或 Z；超 16 位时，V、Z 可组合成 32 位变址寄存器。16 位指令操作数的修改见图 7-107a；32 位指令操作数的修改见图 7-107b；常数 K 的修改见图 7-108a；输入/出继电器编号的修改见图 7-108b；定时器当前值的修改见图 7-109。

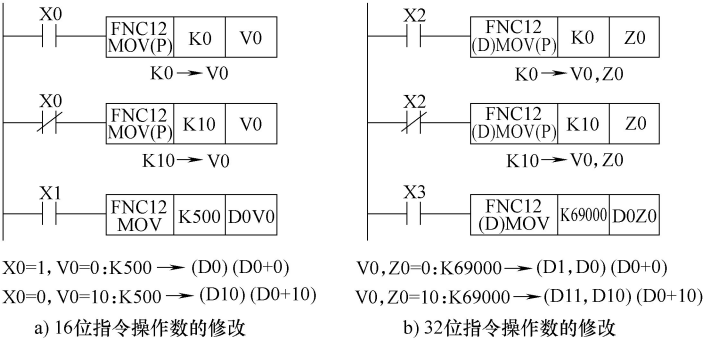


图 7-107　变址寄存器的应用（1）

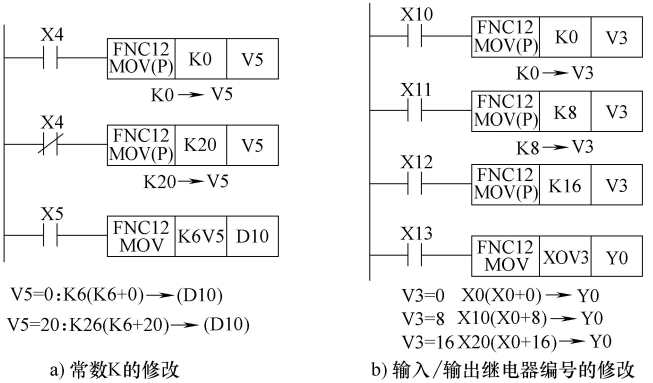
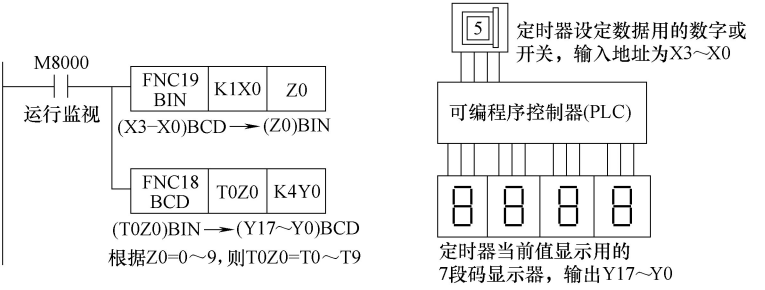


图 7-108　变址寄存器的应用（2）

二、功能指令的作用

FX 系列可编程序控制器的功能指令见表 7-51。



a) 梯形图　　b) 接线示意图

图 7-109　定时器当前值的修改

表 7-51　FX 系列 PLC 的功能指令

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
00	CJ	条件跳转	○	○	○	○
01	CALL	子程序调用	○	○	○	○
02	SRET	子程序返回	○	○	○	○
03	IRET	中断返回	○	○	○	○
04	EI	允许中断	○	○	○	○
05	DI	禁止中断	○	○	○	○
06	FEND	主程序结束	○	○	○	○
07	WDT	监控定时器	○	○	○	○
08	FOR	循环范围开始	○	○	○	○
09	NEXT	循环范围结束	○	○	○	○
10	CMP	比较	○	○	○	○
11	ZCMP	区域比较	○	○	○	○
12	MOV	传送	○	○	○	○
13	SMOV	移位	—	—	○	○
14	CML	取反传送	—	—	○	○
15	BMOV	成批传送	○	○	○	○
16	FMOV	多点传送	—	—	○	○
17	XCH	交换	—	—	○	○
18	BCD	BCD 转换	○	○	○	○
19	BIN	BIN 转换	○	○	○	○
20	ADD	BIN 加法	○	○	○	○
21	SUB	BIN 减法	○	○	○	○
22	MUL	BIN 乘法	○	○	○	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
23	DIV	BIN 除法	○	○	○	○
24	INC	BIN 加 1	○	○	○	○
25	DEC	BIN 减 1	○	○	○	○
26	WAND	逻辑与	○	○	○	○
27	WOR	逻辑或	○	○	○	○
28	WXOR	逻辑异或	○	○	○	○
29	NEG	求补码	—	—	○	○
30	ROR	循环右移	—	—	○	○
31	ROL	循环左移	—	—	○	○
32	RCR	带进位循环右移	—	—	○	○
33	RCL	带进位循环左移	—	—	○	○
34	SFTR	位右移	○	○	○	○
35	SFTL	位左移	○	○	○	○
36	WSFR	字右移	—	—	○	○
37	WSFL	字左移	—	—	○	○
38	SFWR	移位写入	○	○	○	○
39	SFRD	移位读出	○	○	○	○
40	ZRST	成批复位	○	○	○	○
41	DECO	译码	○	○	○	○
42	ENCO	编码	○	○	○	○
43	SUM	ON 位总数	—	—	○	○
44	BON	ON 的判定	—	—	○	○
45	MEAN	平均值	—	—	○	○
46	ANS	信号报警器置位	—	—	○	○
47	ANR	信号报警器复位	—	—	○	○
48	SQR	BIN 开方	—	—	○	○
49	FLT	BIN 整数→二进数浮点数转换	—	—	○	○
50	REF	IO 刷新	○	○	○	○
51	REFF	滤波器调整	—	—	○	○
52	MTR	矩阵输入	○	○	○	○
53	HSCS	高速置位	○	○	○	○
54	HSCR	高速复位	○	○	○	○
55	HSZ	高速比较	—	—	○	○
56	SPD	速度测量	○	○	○	○
57	PLSR	脉冲输出	○	○	○	○
58	PWM	脉宽调制	○	○	○	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
59	PLSR	带加减速的高速脉冲输出	○	○	○	○
60	IST	状态元件的初始化	○	○	○	○
61	SER	数据检索	—	—	○	○
62	ABSD	凸轮控制(绝对方式)	○	○	○	○
63	INCD	凸轮控制(增量方式)	○	○	○	○
64	TIMR	定时器延时的按键调节	—	—	○	○
65	STMR	延时方式转化	—	—	○	○
66	ALT	交替输出	○	○	○	○
67	RAMP	斜坡信号	○	○	○	○
68	ROTC	旋转工作台检测	—	—	○	○
69	SORT	数据排列	—	—	○	○
70	TKY	十进制数字输入键处理	—	—	○	○
71	HKY	十六进制数字输入键处理	—	—	○	○
72	DSW	BCD 码编译开关输入处理	○	○	○	○
73	SEGD	单只七段码管显示	—	—	○	○
74	SEGL	七段码管组成显示	—	—	○	○
75	ARWS	箭头开关	—	—	○	○
76	ASC	8 字符 ASCII 码直接转换	—	—	○	○
77	PR	8 字符 ASCII 码直接输出	—	—	○	○
78	FROM	BFM 读出	○	○	○	○
79	TO	BFM 写入	○	○	○	○
80	RS	串行数据传送	○	○	○	○
81	PRUN	8 进制位传送	○	○	○	○
82	ASCI	任意长度的 ASCII 转换	○	○	○	○
83	HEX	任意长度的 ASCII 逆转换	○	○	○	○
84	CCD	数据块的字节求和与校验	○	○	○	○
85	VRRD	内置式扩展板电位器数据读出	○	○	○	○
86	VRSC	内置式扩展板电位器刻度读出	○	○	○	○
87	RS2	串行数据传送 2	—	—	—	○
88	PID	PID 运算	○	○	○	○
102	ZPUSH	变址寄存器内容保存	—	—	—	○
103	ZPOP	变址寄存器内容恢复	—	—	—	○
110	ECMP	二进制浮点数比较	—	—	○	○
111	EZCP	二进制浮点数区间比较	—	—	○	○
112	EMOV	二进制浮点数传送	—	—	—	○
116	ESTR	带浮点数变换功能的 ASCII 转换	—	—	—	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
117	EVAL	带浮点数变换功能的 ASCII 拟转换	—	—	—	○
118	EBCD	二进制浮点数→十进制浮点数转换	—	—	○	○
119	EBIN	10 进制浮点数→二进制浮点数转换	—	—	○	○
120	EADD	二进制浮点数加法	—	—	○	○
121	ESUB	二进制浮点数减法	—	—	○	○
122	EMUL	二进制浮点数乘法	—	—	○	○
123	EDIV	二进制浮点数除法	—	—	○	○
127	ESQR	二进制浮点数开方	—	—	○	○
128	ENEG	二进制浮点数符号变换	—	—	—	—
129	INT	二进制浮点数→BIN 整数转换	—	—	○	○
130	SIN	浮点数 SIN 运算	—	—	○	○
131	COS	浮点数 COS 运算	—	—	○	○
132	TAN	浮点数 TAN 运算	—	—	○	○
133	ASIN	浮点数反 SIN 运算	—	—	—	○
134	ACOS	浮点数反 COS 运算	—	—	—	○
135	ATAN	浮点数反 TAN 运算	—	—	—	○
136	RAD	浮点数转换为弧度	—	—	—	○
137	DEG	浮点数转换为角度	—	—	—	○
140	WSUM	数据块的字或双字求和	—	—	—	○
141	WTOB	数据块的字节分离	—	—	—	○
142	BTOW	数据块的字节组合	—	—	—	○
143	UNI	数据块的半字节组合	—	—	—	○
144	DIS	数据的字节分离	—	—	—	○
147	SWAP	上下字节变换	—	—	○	○
149	SORT2	数据排列 2	—	—	—	○
150	DSZR	零脉冲回原点	—	—	—	○
151	DVIT	终端控制的定长定位	—	—	—	○
152	TBL	表格型多点定位	—	—	—	○
155	ABS	ABS 当前值读出	○	○	—	○
156	ZRN	原点回归	○	○	—	○
157	PLSY	可变度的脉冲输出	○	○	—	○
158	DRVI	相对定位	○	○	—	○
159	DRVA	绝对定位	○	○	—	○
160	TCMP	时钟数据比较	○	○	○	○
161	TZCP	时钟数据区间比较	○	○	○	○
162	TADD	时钟数据加法	○	○	○	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
163	TSUB	时钟数据减法	○	○	○	○
164	HTOS	时钟换算	—	—	—	○
165	STOH	时钟换算	—	—	—	○
166	TRD	时钟数据读出	○	○	○	○
167	TWR	时钟数据写入	○	○	○	○
169	HOUR	计时仪	○	○	○	○
170	GRY	格雷码变换	—	—	○	○
171	GBIN	格雷码逆变换	—	—	○	○
176	RD3A	模拟块读出	○	○	○	○
177	WR3A	模拟块写入	○	○	○	○
182	COMRD	注释读出	—	—	—	○
184	RND	随机数据生效	—	—	—	○
186	DUTY	PLC 循环时钟脉冲	—	—	—	○
188	CRC	CRC 运算	—	—	—	○
189	HCOMV	高速计数器传送	—	—	—	○
192	BK +	数据块加法	—	—	—	○
193	BK −	数据块减法	—	—	—	○
194	BKCMP =	数据块等于比较	—	—	—	○
195	BKCMP >	数据块大于比较	—	—	—	○
196	BKCMP <	数据块小于比较	—	—	—	○
197	BKCMP < >	数据块不等于比较	—	—	—	○
198	BKCMP≤	数据块小于或等于比较	—	—	—	○
199	BKCMP≥	数据块大于或等于比较	—	—	—	○
200	STR	带小数变换功能的 ASCII 转换	—	—	—	○
201	VAL	带小数变换功能的 ASCII 逆转换	—	—	—	○
202	$ +	ASCII 码合并	—	—	—	○
203	LEN	ASCII 码长度检测	—	—	—	○
204	RIGHT	右侧 ASCII 码部分传送	—	—	—	○
205	LEFT	左侧 ASCII 码部分传送	—	—	—	○
206	MIDR	中间 ASCII 码部分传送	—	—	—	○
207	MIDW	ASCII 码替换	—	—	—	○
208	INSTR	ASCII 码检索	—	—	—	○
209	SMOV	ASCII 码全部传送	—	—	—	○
210	FDEL	数据块中的数据删除	—	—	—	○
211	FINS	数据块中的数据插入	—	—	—	○
212	POP	移位读出(按 SFWR 后进先出)	—	—	—	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
213	SFR	含进位的任意位右移	—	—	—	○
214	SFL	含进位的任意位左移	—	—	—	○
224	LD =	(S1) = (S2)	○	○	○	○
225	LD >	(S1) > (S2)	○	○	○	○
226	LD <	(S1) < (S2)	○	○	○	○
228	LD < >	(S1) ≠ (S2)	○	○	○	○
229	LD≤	(S1) ≤ (S2)	○	○	○	○
230	LD≥	(S1) ≥ (S2)	○	○	○	○
232	AND =	(S1) = (S2)	○	○	○	○
234	AND <	(S1) < (S2)	○	○	○	○
236	AND < >	(S1) ≠ (S2)	○	○	○	○
237	AND≤	(S1) ≤ (S2)	○	○	○	○
238	AND≥	(S1) ≥ (S2)	○	○	○	○
240	OR =	(S1) = (S2)	○	○	○	○
241	OR >	(S1) > (S2)	○	○	○	○
242	OR <	(S1) < (S2)	○	○	○	○
244	OR < >	(S1) ≠ (S2)	○	○	○	○
245	OR≤	(S1) ≤ (S2)	○	○	○	○
246	OR≥	(S1) ≥ (S2)	○	○	○	○
256	LIMIT	输出上下限	—	—	—	○
257	BAND	输入死区	—	—	—	○
258	ZONE	偏移调整	—	—	—	○
259	SCL	坐标型数据转换	—	—	—	○
260	DABIN	十进制 ASCII 码→二进制整数	—	—	—	○
261	BINDA	二进制整数→十进制 ASCII 码	—	—	—	○
262	SCL2	双轴坐标型数据转换	—	—	—	○
270	IVCK	变频器监控	—	—	—	○
271	IVDR	变频器控制	—	—	—	○
272	IVRD	变频器参数读	—	—	—	○
273	IVWR	变频器参数写	—	—	—	○
278	RBFM	RBFM 分割读出	—	—	—	○
279	WRBFM	RBFM 分割写入	—	—	—	○
280	HSCT	高速计数成批比较	—	—	—	○
290	LOADR	扩展数据寄存器装载	—	—	—	○
291	SAVER	扩展数据寄存器保存	—	—	—	○
292	INITR	同时进行 R 与 ER 区数据初始化	—	—	—	○

（续）

功能号	助记符	功能	对应机型			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
293	LOGR	R 与 ER 区数据登录	—	—	—	○
294	RWER	任意长度的扩展数据寄存器 R 保存	—	—	—	○
295	INITER	单独进行存储器盒 ER 区初始化	—	—	—	○

注：“○”—该机型有此指令；“—”—该机型无此指令。

第六节　三菱 FX 系列可编程序控制器的模拟量特殊单元

一、分类与选用

1. 分类

三菱 FX 系列可编程序控制器的模拟量特殊单元按功能分为模拟量输入和模拟量输出。前者通过 A-D 转换将物理量如电压、电流、流量、压力等转换为数字量，为 PLC 运算与处理，见图 7-110；后者通过 D-A 转换将 PLC 运算数字量转为物理量输出，用于控制或显示，见图 7-111。

按照安装方式不同又分为功能扩展板与特殊功能模块，前者直接安装于基本单元或通过适配器与基本单元连接，后者通过扩展电缆与基本单元连接。

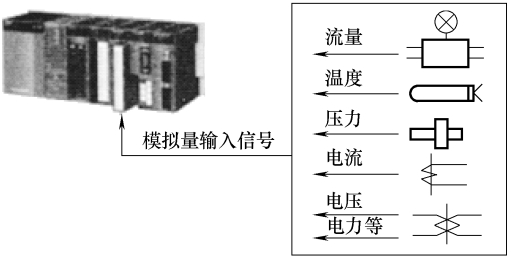


图 7-110　A-D 转换

（1）功能扩展板　包括内置式与外置式两种，前者直接安装在 FX_{1S}/FX_{1N} 系列 PLC 的基本单元；后者只用于 FX_{3U} 系列，由 FX_{3U}—□□□—BD 与基本单元连接。功能扩展板 A-D、D-A 直接在 PLC 上运行，A-D 结果与 D-A 数字量输入直接存储到

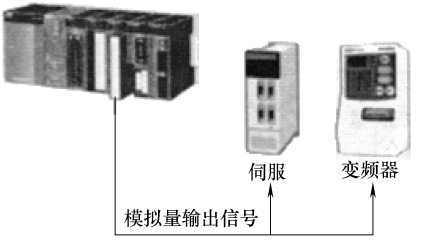


图 7-111　D-A 转换

特殊寄存器 D，由特殊辅助继电器 M 控制转换，A-D 与 D-A 输出特性不能改变。

（2）特殊功能模块　用于 $FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{3U}$ 系列，本身带存储器，A-D 与 D-A 转换在模块中进行。A-D 结果保存到 BFM，读指令到 PLC 中；D-A 转换数字量输入用写指令到 BFM 中。特殊模块实现基本的 A-D、D-A 转换，还可对转换结果做平均计算、偏移与增益调整、转换数据上/下限监控等；模块转换出错报警、超限、转换结果历史记录等。

2. 选用

以 FX_{2N} 系列 PLC 的特殊功能模块为主，各型号功能扩展板、特殊功能模块的主要区别在模拟量输入类型、输入通道数量、转换精度、输出特性、附加功能等；FX_{3U} 系列在 FX_{2N} 系列基础上增加部分电压与电流 I/O 扩展选件，A-D 精度更高，见表 7-52。

表 7-52　FX 系列 PLC 的模拟量扩展模块

类别	型号与名称	功能	最大安装数量			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
模拟量输入	FX_{1N}—2AD—BD，内置式 2 通道	DC0～10V/4～20mA，12 位 A-D，分辨率 2.5mV/8μA，速度 15ms/CH	1	1	×	×
	FX_{2N}—2AD，2 通道	DC0～10V/4～20mA，12 位 A-D，分辨率 2.5mV/4μA，速度 2.5ms/CH	×	8		
	FX_{2N}—4AD，4 通道	DC－10～10V/－20～20mA，带符号 12/11 位 A-D，分辨率 5mV/20μA，速度 15ms/CH	×	8		
	FX_{2N}—8AD，8 通道	DC－10～10V/－20～20mA 或 K/J/T 热电偶输入，带符号 15/14/15 位 A-D，分辨率 0.63mV/2.5μA/0.1℃，电压/电流输入速度 0.5ms/CH，热电偶输入速度 40ms/CH	×	8		
	FX_{3U}—4AD，4 通道	DC－10～10V/－20～20mA，带符号 16/15 位 A-D，分辨率 0.32mV/1.25μA，速度 0.5ms/CH	×	8		

（续）

类别	型号与名称	功能	最大安装数量			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
模拟量输入	FX_{3U}—4AD—ADP，外置式 4 通道，扩展板	DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA，12/11 位 A-D，分辨率 2.5mV/10μA，速度 0.2ms/CH	×			4
模拟量输出	FX_{1N}—1DA—BD，内置式 1 通道，扩展板	DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA 模拟电流，12 位 D-A，分辨率 2.5mV/8μA，速度 10ms	1	1	×	×
	FX_{2N}—2DA，2 通道	DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA，12 位 D-A，分辨率 2.5mV/4μA，速度 4ms/CH	×	8		
	FX_{2N}—4DA，4 通道	DC − 10 ~ 10V/0 ~ 20mA，12 位带符号/10 无符号 D-A，分辨率 5mV/20μA，速度 2.1ms	×	8		
	FX_{3U}—4DA，4 通道	DC − 10 ~ 10V/0 ~ 20mA，16 位带符号/15 无符号 D-A，分辨率 0.32mV/0.63μA，速度 1ms	×			8
	FX_{3U}—4DA—ADP，外置式 4 通道，扩展板	DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA，12 位 D-A，分辨率 2.5mV/4μA，速度 0.2ms/通道	×			4
模拟量输入/输出混合	FX_{0N}—3A，2 通道模拟量输入/1 通道模拟量输出模块	DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA，8 位 A-D，分辨率 40mV/64μA，速度 0.1ms/CH； DC0 ~ 10V/4 ~ 20mA，8 位 D-A，分辨率 40mV/64μA，速度 3 倍 TO 执行指令时间	×	8		
	FX_{2N}—5A，3 通道模拟量输入/2 通道模拟量输出模块	DC − 10 ~ 10V/ − 20 ~ 20mA，16 位/15 位带符号 A-D，分辨率 0.32mV/1.25μA，速度 1ms/CH；− 10 ~ 10VVDC/0 ~ 20mA，12 位带符号/10 位无符号 D-A，分辨率 5mV/20μA，速度 2ms/CH	×	8		

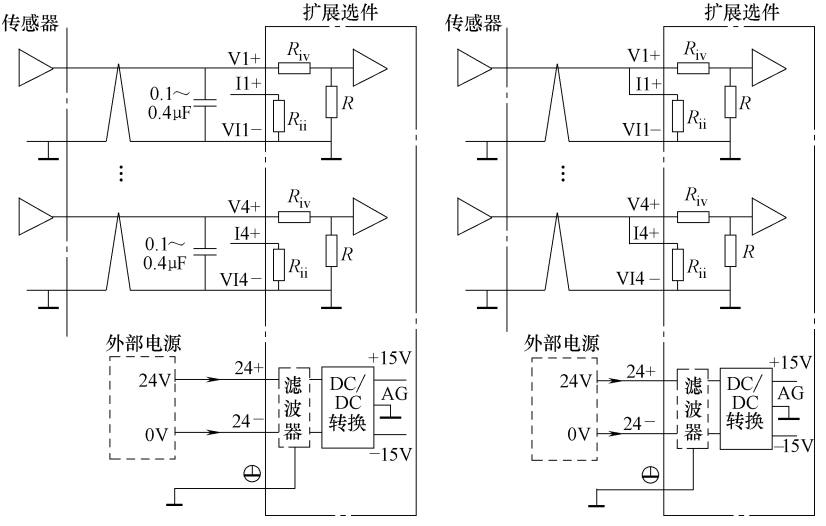
二、接入方式

1. 输入模块

模拟量输入的连接见图 7-112，各通道输入端为 V1 + ~ V4 +、I1 + ~ I4 +、VI1 − ~ VI4 −，或直接在 V +、I +、VI − 旁标注通道号 CH1 ~ CH4。输入模块 DC5V 由基本单元或 I-O 扩展单元提供，内置式功能扩展板 DC 24V 由基本单元提供，外置式功能扩展板与特殊模块 DC 24V 由外部提供。

（1）电压输入　传感器电压输出接模块 A-D 输入端“V +”，传感器“0V”端接输入端“VI −”，模块电流输入 I + 不能接其他信号。为提高抗干扰能力，在 V + 与 V − 端跨接 0.1 ~ 0.47μF/25V 电容器。

（2）电流输入　传感器电流输出接模块 A-D 输入端“I +”，传感器“0V”端接输入端“VI −”。将电流输入端 I + 与电压输入端 V + 短接。传感器电流输入信号通过输入电阻 R_{ii} 转为运算放的输入电压，R_{ii} 一般取 250Ω。

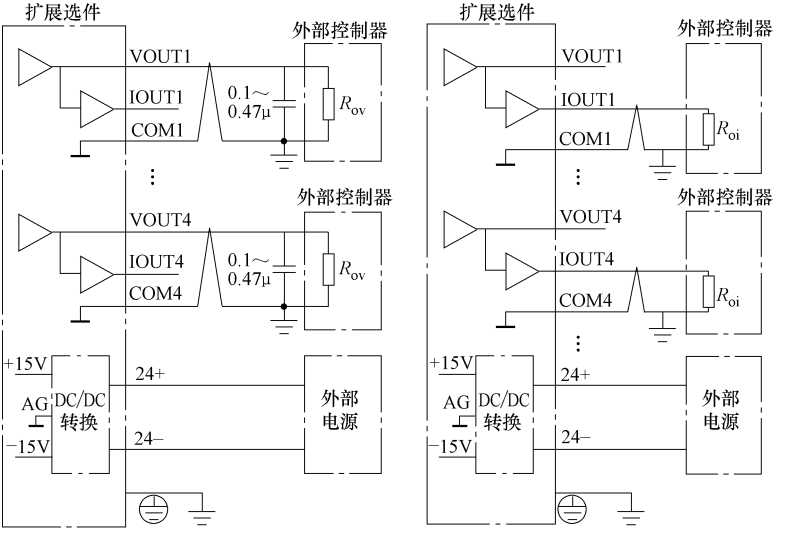


a）模拟电压输入　　b）模拟电流输入

图 7-112　模拟量输入的连接

2. 输出模块

如图 7-113 所示，通道连接端 VOUT1 ~ VOUT4、IOUT1 ~ IOUT4、COM1 ~ COM4。输出模块 DC 5V 由基本单元或 I/O 扩展单元提供；内置式功能扩展板 DC 24V 由基本单元提供，但外置式功能扩展板与特殊模块 DC 24V 需要由外部提供。



a) 模拟电压输出　　b) 模拟电流输出

图 7-113　模拟量输出的连接

（1）电压输出　输出端 VOUT，0V 端为 COM，电流输出端 IOUT 不需要连接。电压信号输出端负载电阻 R_{ov} 取 2kΩ ~ 1MΩ。为抑制干扰，在电压输出端并联 0.1 ~ 0.47μF/25 V 电容器。

（2）电流输出　输出端 IOUT，0V 端为 COM，电压输出端 VOUT 不需要连接。电流输出端电阻 $R_{0i} \leqslant 500\Omega$。

三、编程指令

FX 系列 PLC 模拟量 I/O 扩展选件的内置/外置式功能扩展板，由特殊 M、D 控制；TO 写入控制参数；FROM 读取模块状态信息。因读/写时间较长，FX_{3U} 系列 PLC 新增 RBFM 与 WBFM ，可实现分批读/写。

1. FROM

读取特殊模块缓冲存储器中的参数，并存储到 PLC 的指定区域，见图 7-114。

1）m1：K/H，模块安装地址。特殊模块安装位置，从基本单元向右，只对特殊模块编号依次为 K0、K1、K2，…，I/O 扩展单元不编号。

2）m2：K/H，指定需要读取的存储器起始地址，地址范围决定于特殊模块的型号。

3）［D.］：操作数 KnY/KnM/KnS、T、C、D、V/Z，指定存储读取数据存储器起始地址。

4）n：K/H，读数据长度；32 位操作前加 D；脉冲执行后加 P。

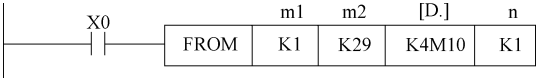


图 7-114　FROM 指令的编程格式

缓冲存储器中参数以字为单位，FX 系列 PLC 中目标存储器的起始地址可用字节指定，如 K2M0、K2Y0 等，此时 BFM#□□中高字节被忽略。

2. TO

向特殊模块指定的 BFM 参数写入控制参数，见图 7-115。

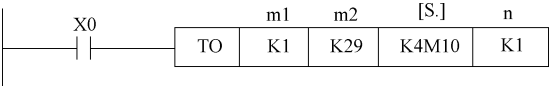


图 7-115　TO 指令的编程格式

1）m1：K/H，含义与 FROM 相同。

2）m2：K/H，指定写入控制命令或参数的目标存储器起始地址，范围及含义同 FROM。

3）［S.］：操作数 KnX/KnY/KnM/KnS、T、C、D、V/Z，指定存储控制命令或参数的存储器起始地址。

4）n：K/H，写数据长度；32 位操作前加 D，边沿执行后加 P。

注意：FROM/TO 用于 FX 系列 PLC 全部特殊模块编程。

3. RBFM

只用于 FX_{3U} 系列 PLC，作用同 FROM，缓冲存储器参数可分批读出，见图 7-116。

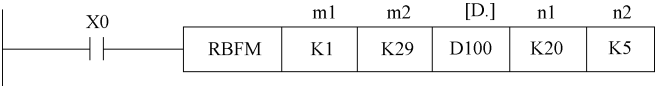


图 7-116　RBFM 指令的编程格式

1）m1：K/H、D，同 FROM；m2：K/H、D，指定读出存储器的起始地址，范围及含义同 FROM。

2）［D.］：D、V/Z，指定存储与读出数据目标存储器的起始地址。

3）n1：K/H、D，指定需要读出数据总长度；n2：K/H、D，指定每 1 个 PLC 循环周期需要读出数据的长度（字数）。不可 32 位操作，也不可边沿指令。

RBFM 将长度 n1 字的模块 BFM 参数分批传送给 PLC，但每 1 个 PLC 循环周期读出参数只有 n2 字，需（n1/n2）～（n1/n2 + 1）个 PLC 循环周期完成操作。RBFM 执行后，M 8 029 = 1。

4. WBFM

只用于 FX_{3U} 系列 PLC，与 TO 类似，控制参数可分批写入，见图 7-117。

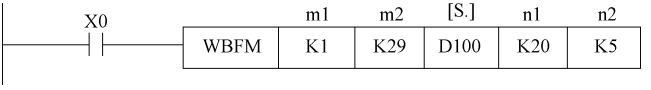


图 7-117　WBFM 指令的编程格式

1）m1：K/H、D，同 FROM；m2：K/H、D，指定写入控制参数的目标存储器起始地址，范围由特殊模块型号决定。

2）［S. ］：D、V/Z，指定存储控制参数的存储器起始地址。

3）n1：K/H、D，指定需要写入的数据总长度；n2：K/H、D，每 1 个循环周期需要写入的数据长度。不可 32 位操作，也不可边沿指令。

WBFM 将长度 n1 字的控制参数分批写到模块 BFM 中，每 1 个 PLC 循环周期写入参数数量 n2 字，需（n1/n2）～（n1/n2 + 1）个 PLC 循环周期完成操作。WBFM 执行后，M8029 = 1。

四、模拟量 I/O 功能扩展板

FX 系列 PLC 模拟量 I/O 功能扩展板包括内置与外置式功能扩展板，前者用于 FX_{1S}/FX_{1N} 系列 PLC，后者用于 FX_{3U} 系列 PLC。外置式功能扩展板连接时需配备 FX_{3U}-232-BD 或 FX_{3U}-485-BD、FX_{3U}-422-BD、FX_{3U}-CNV-BD、FX_{3U}-USB-BD 的任一种。扩展板 A-D 直接在基本单元上完成，由特殊辅助继电器 M 控制，A-D、D-A 直接存储到特殊寄存器 D。

1. FX_{1N}-2AD-BD

（1）技术性能　只用于 FX_{1S}/FX_{1N} 系列 PLC，技术性能见表 7-53。

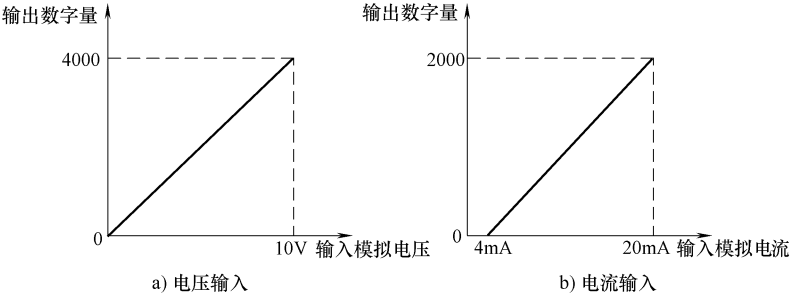
表 7-53　FX_{1N}—2AD—BD 模拟量输入扩展板的性能

项目	参数		备注
	电压输入	电流输入	
输入点	2 通道，只能安装 1 块		2 通道输入类型可不同，由 M8112/M8113 选择
输入	DC 0 ~ 10V	DC 4 ~ 20mA	

（续）

项目	参数		备注
	电压输入	电流输入	
输入极限	DC －0.5～15V	DC －2～60mA	输入超极限可能损坏扩展板
输入电阻	300kΩ	250Ω	
转换结果	12 位无符号	11 位无符号	在 D8 112/D8 113输出
分辨率	2.5mV(4 000/10V)	8μA(2 000/16mA)	
转换精度	±1% FS		
处理时间	15ms/通道		执行 END 指令时处理
调整	不能进行偏移与增益调整		需 PLC 程序处理
输出隔离	无隔离		—
占用 I/O 点数	不占用		—
电源	5V/20mA		需要 PLC 提供

（2）输出特性　如图 7-118 所示，CH1 与 CH2 输入类型可不同，偏移与增益能进行调整，由程序改变 A-D 输出特性。



a) 电压输入　　b) 电流输入

图 7-118　FX_{1N}—2AD—BD 模拟量输入扩展板的输出特性

（3）编程与控制　FX_{1N}—2AD—BD 编程与控制由特殊辅助继电器 M 与寄存器 D 实现。

M8112：CH1 输入类型，0：0～10V，1：4～20mA。M8113：CH2 输入类型，0：0～10 V，1：4～20mA。D8112：CH1 的 A-D 输出；D8113：CH2 的 A-D 输出。

只需对 M8112/M8113 赋值，便可指定模拟量输入类型，A-D 结果存储到 D8112/D8113。

（4）编程示例　CH1 接 0～10V，在 D10 得到单位为 1mV 的 A-D 结果（数字量 0～10 000）；CH2 接 4～20mA，在 D60 得到单位为 1μA 的 A-D 结果（数字量4 000～20 000），见图 7-119。根据 FX_{1N}-2AD-BD 特性，CH1 的 0～10V 输入

在 D8112 得到 A-D 结果是 0 ~ 4 000，故 D10 = D8112 × 10/4 转到单位为 1mV 数字量 0 ~ 10 000；CH2 的 4 ~ 20 mA 输入在 D8113 的 A-D 结果是0 ~ 2 000，故 D60 = D8113 × 8 + 4 000转到单位为 1μA 的数字量4 000 ~ 20 000。

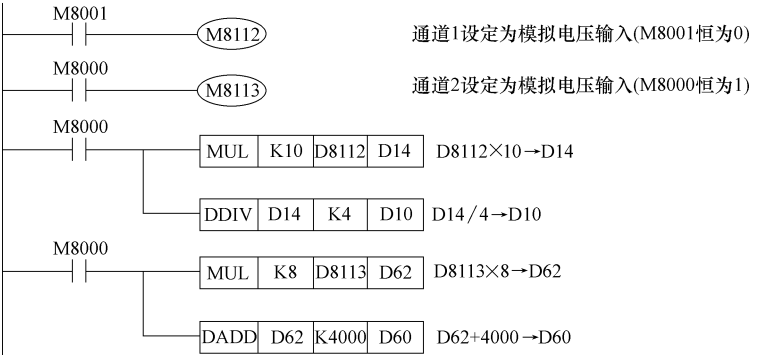


图 7-119　FX_{1N}-2AD-BD 编程示例

2. F_{1N}—1DA—BD

（1）技术性能　见表 7-54，只用于 FX_{1S}/FX_{1N} 系列 PLC。

表 7-54　FX_{1N}—1DA—BD 模拟量输出扩展板技术性能

项目	参数		备注
	电压输出	电流输出	
输出点数	共 1 通道，只能安装 1 块		M 8 114选择
输出范围	DC0 ~ 10V	DC 4 ~ 20mA	
负载电阻	≥2kΩ	≤500Ω	超范围时输出电压/电流有所变化
数字输入	12 位无符号	11 位无符号	在 D 8 114给定
分辨率	2. 5mV (10V/4 000)	8μA (16mA/2 000)	
转换精度	±1% FS		
处理时间	10ms		执行 END 指令时处理
调整	不能偏移与增益调整		—
输出隔离	无隔离		—
占 I/O 点	0		
电源	5V/20mA		需要 PLC 提供

（2）输出特性　如图 7-120 所示，输出特性不能偏移与增益调整，由程序改变 D-A 输出特性。

（3）编程与控制　由特殊辅助继电器 M 与寄存器 D 实现。

M 8 114：输出类型，0：0 ~ 10 V，1：4 ~ 20 mA。D 8 114：D-A 转换输

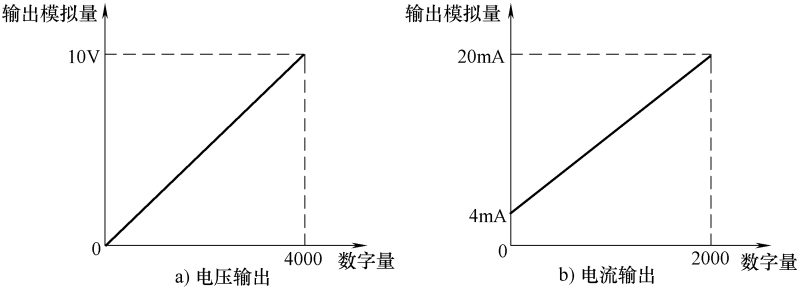


图 7-120　FX_{1N}-1DA-BD 模拟量输出扩展板的输出特性

入，0～4 000对应 0～10V，0～2 000对应 4～20mA。

只要在 D 8 114给定需要转换的数字量，对 M 8 114 为 ON/OFF 选定模拟量输出类型。D-A 结果在输出端输出，该输出在 PLC 转入“STOP”状态仍能够保持。

（4）编程示例　将 D0 中单位为 1mV 的数字量 0～10 000转换为 DC0～10V 输出；将 D60 中单位为 1μA 的数字量4 000～20 000转换为 4～20mA 输出，见图 7-121。

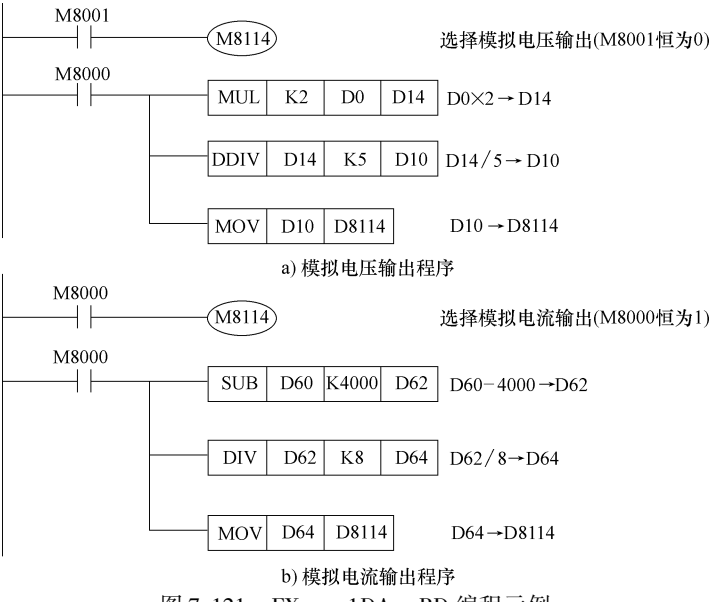


图 7-121　FX_{1N}—1DA—BD 编程示例

根据 FX_{1N}—1DA—BD 的特性，0 ~ 10V 输出的 D8114 数字 0 ~ 4 000，故 D8114 = D0 ×2/5 将 D0 中单位为 1 mV 数字量 0 ~ 10 000转换为 D8114 数字量 0 ~ 4 000；4 ~ 20 mA 输出的 D8114 数字量 0 ~ 2 000，故 D8114 = (D60 − 4 000)/8 将 D60 单位为 1μA 的数字量4 000 ~ 20 000转换为 D8114 数字量0 ~ 2 000。

3. FX_{3U}—4AD—ADP

外置式 4 通道 A-D 模块，1 台基本单元可安装 4 只。由 FX_{3U}-□□□-BD 与基本单元连接，安装在 PLC 左侧，见图 7-122。

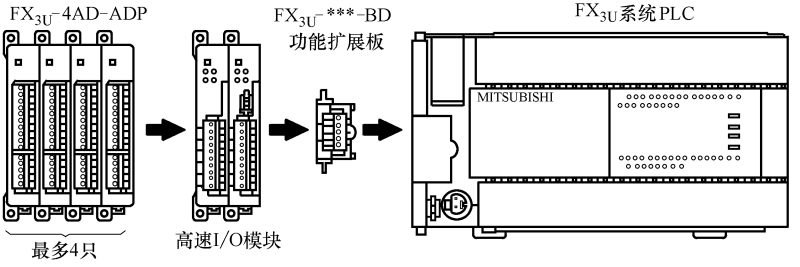
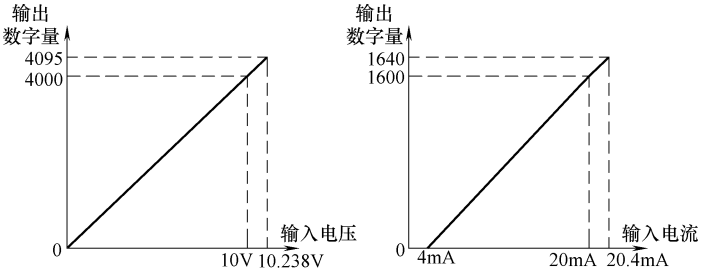


图 7-122　FX_{3U}—4AD—ADP 模拟量输入扩展板的安装

（1）技术性能　见表 7-55，输出特性见图 7-123，偏移与增益不能调整，需要编程或 FX_{3U} 专用坐标型数据转换指令 SCL 。

表 7-55　FX_{3U}—4AD—ADP 模拟量输入扩展板的技术性能

项目	参数		备注
	电压输入	电流输入	
输入点数	每 1 扩展板 4 通道,最多安装 4 块		4 通道输入类型可不同
输入要求	DC 0 ~ 10V	DC 4 ~ 20mA	
输入极限	DC −0.5 ~ 15V	DC −2 ~ 30mA	输入超极限可能损坏扩展板
输入电阻	200kΩ	250Ω	
数字输出	12 位(无符号)	11 位(无符号)	
分辨率	2.5mV (4 000/10V)	10μA (1 600/16mA)	
精度	±1%(全范围)		
处理时间	200μs/4 通道		执行 END 指令时处理
调整	不能进行偏移/增益调整		—
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
占 I/O 点	0		
电源	DC 24V/40mA,5V/15mA		需外部电源提供 DC 24V



a) 电压输入　　b) 电流输入

图 7-123　FX_{3U}—4AD—ADP 的输出特性

（2）编程与控制　由 M82□0 ~ M82□3 与 D82□0 ~ D82□9 控制。“□”为扩展板号，第 1 ~ 4 扩展板 6 ~ 9。特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D 的功能见表 7-56。出错信息存 D82□8，状态以二进制位形式取出与编程，D82□8 bit0 ~ bit7 的二进制值元件地址以 D82□8. 0 ~ D82□8. 7 形式，出错信息状态 D82□8. 6/D82□8. 7 由 RST 清除。

表 7-56　FX_{3U}—4AD—ADP 特殊辅助继电器与特殊数据寄存器的功能

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
CH1 输入	M 8 260	M 8 270	M 8 280	M 8 290	0,0 ~ 10V 输入；1,4 ~ 20mA 输入
CH2 输入	M 8 261	M 8 271	M 8 281	M 8 291	
CH3 输入	M 8 262	M 8 272	M 8 282	M 8 292	
CH4 输入	M 8 263	M 8 273	M 8 283	M 8 293	
$(A\text{-}D)_1$ 的结果	D 8 260	D 8 270	D 8 280	D 8 290	采样次数设定为“1”时，A-D 为瞬时采样值；当采样次数不为“1”时，A-D 为采样平均值
$(A\text{-}D)_2$ 的结果	D 8 261	D 8 271	D 8 281	D 8 291	
$(A\text{-}D)_3$ 的结果	D 8 262	D 8 272	D 8 282	D 8 292	
$(A\text{-}D)_4$ 的结果	D 8 263	D 8 273	D 8 283	D 8 293	
CH1 采样次数设定	D 8 264	D 8 274	D 8 284	D 8 294	范围为 1 ~ 4 095
CH2 采样次数设定	D 8 265	D 8 275	D 8 285	D 8 295	
CH3 采样次数设定	D 8 266	D 8 276	D 8 286	D 8 296	
CH 4 采样次数设定	D 8 267	D 8 277	D 8 287	D 8 297	

（续）

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
出错状态输出（二进制位形式）	D 8 268	D 8 278	D 8 288	D 8 298	bit0 ~ 3，CH1 ~ 4 的 A-D 转换值超范围出错；bit4，EEPROM 出错；bit5，采样次数设定错误；bit6，扩展板硬件出错；bit7，数据传送出错；bit8 ~ bit15，未用
扩展板 ID 代码	D 8 269	D 8 279	D 8 289	D 8 299	固定“1”

（3）指令 SCL　根据 XY 坐标平面上建立的 I/O 曲线数据转换，见图 7-124。

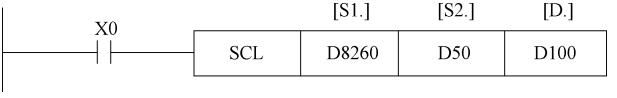


图 7-124　SCL 指令的编程格式

1）［S1.］：K/H、KnX/KnY/KnM/KnS、T、C、D、V/Z，转换数据或存储器地址。

2）［S2.］：D、V/Z，指定转换曲线定义的数据寄存器起始地址。

3）［D.］：KnY/KnM/KnS、T、C、D、V/Z，转换输出数据寄存器的起始地址。32 位前加 D；脉冲后加 P。SCL 转换曲线由若干线段构成的折线。

4）［S2.］：转换曲线节点数 n。如图 7-125 所示的转换曲线，其节点数为 5，节点与节点间通过直线连接。

5）［S2.］+1：节点 1 对应输入 X1；［S2.］+2：节点 1 对应输出 Y1；［S2.］+3：节点 2 对应输入 X2；［S2.］+4：节点 2 对应输出 Y2。

……

6）［S2.］+2n－1，节点 n 对应输入 Xn；［S2.］+2n：节点 n 对应输出 Yn。

注意：节点输入 Xn 必须按升序排列，Yn 可任意设定。节点定义后，转换曲线即被定义。当［S1.］输入在 X1 ~ X2 变化时，输出［D.］Y1 ~ Y2 按节点（X1，Y1）、节点（X2，Y2）组成的直线对应变化；输入在 X2 ~ X3 变化时，输出按照节点（X2，Y2）、节点（X3，Y3）变化。转换输出的小数四舍五入取整。当输入［S1.］<X1 或［S1.］>Xn 时，出错报警6 706。

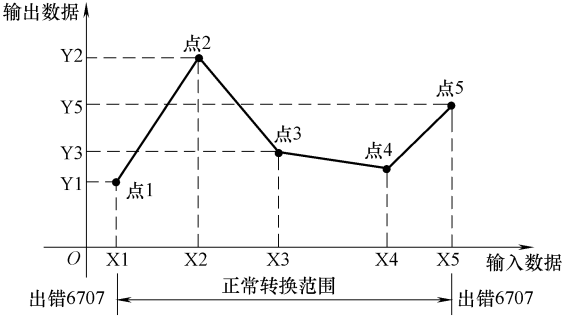


图 7-125　转换曲线的定义

例如，对“SCL D8260 D50 D100”定义如下转换曲线数据表：D50 = 2；D51 = 400；D52 = 0；D53 = 2 000；D54 = 10 000。转换曲线见图 7-126，转换结果：D8260 < 400 或 D8260 > 2 000，出错报警6 706；400 ≤ D8260 ≤ 2 000，Dl00 = 10 000 × (D8260-400)/1 600。

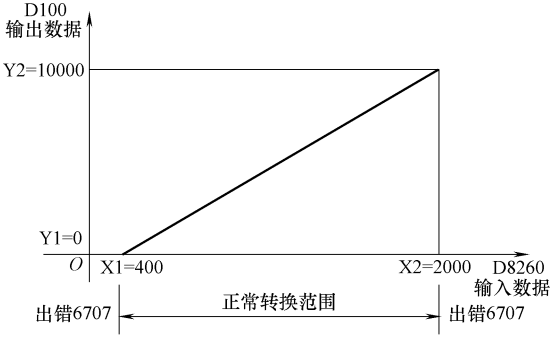


图 7-126　SCL 指令编程示例

（4）编程示例

① 直接应用指令。CH1：0 ~ 10V，A-D 输出 5 次采样平均值，输出字 0 ~ 4 000存储到 D100，A-D 超范围时 Y0 = 1；CH2：4 ~ 20mA，A-D 输出 5 次采样平均值，输出字 0 ~ 1 600存储到 D101，A-D 超范围时 Y1 = 1，见图 7-127。

② 需要进行转换。CH1 输入 1 ~ 5V，在 D100 得分辨率为 1mV 的 A-D 结果 0 ~ 10 000。输入类型选 0 ~ 10V；FX_{3U}—4AD—ADP 输出是 0 ~ 10 V 对应字 0 ~ 4 000，输入 1 ~ 5V 时在 D 8 260转换结果只能 400 ~ 2 000，需将 D8260 的数值 400 ~ 2000 转换为 D100 的 0 ~ 10 000输出。D 8 260到 D100 的数据转换由 SCL 实现，见图 7-128。

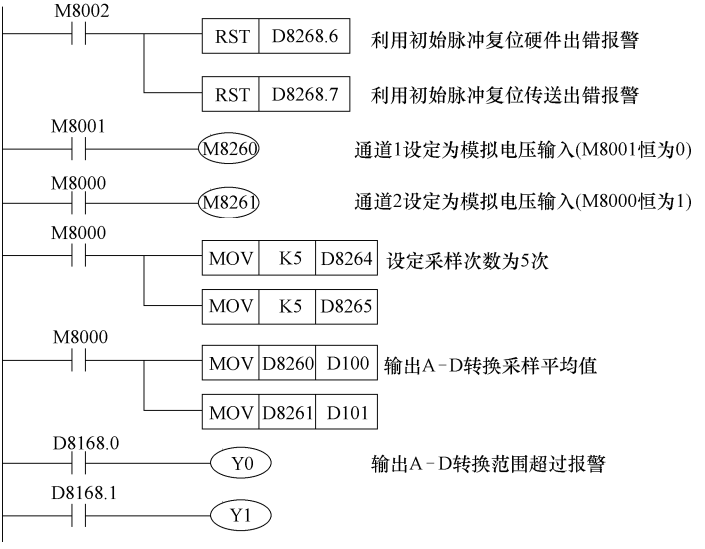


图 7-127　FX_{3U}—4AD—ADP 编程例

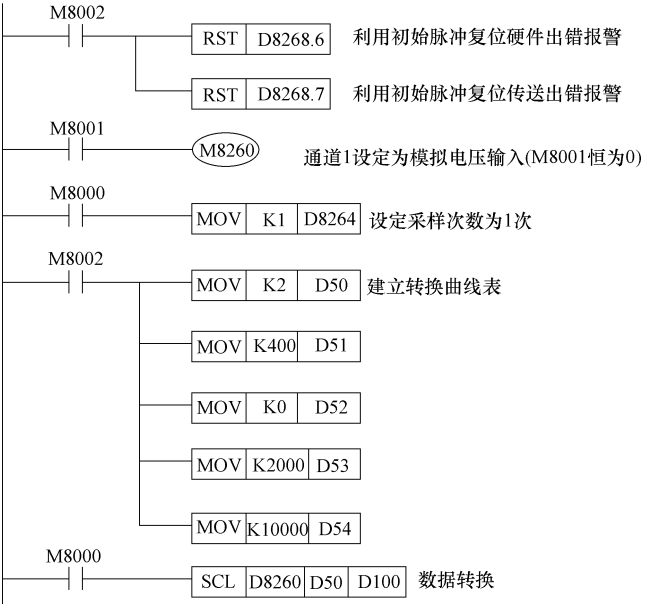


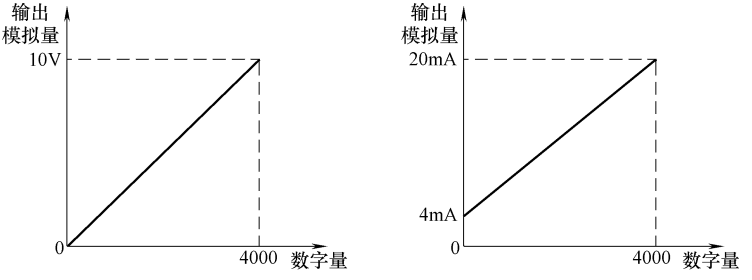
图 7-128　FX_{3U}—4AD—ADP 输出转换编程例

4. FX_{3U}—4DA—ADP

（1）技术性能　FX_{3U}—4DA—ADP 为外置式模拟量输出扩展板，只用于 FX_{3U} 系列，安装同 FX_{3U}—4AD—ADP，技术性能见表 7-57，输出特性见图7-129，偏移与增益由程序调整，或用 FX_{3U} 系列 SCL 转换。

表 7-57　FX_{3U}—4DA—ADP 模拟量输出扩展板的技术性能

项目	参数		备注
	电流输出	电压输出	
输出点数	每一扩展板 4 通道,最多安装 4 块		由特殊 M 选择
输出	DC 0 ~ 10V	DC 4 ~ 20mA	
负载电阻	5kΩ ~ 1MΩ	≤500Ω	超范围时,输出电压/电流有所变化
数字输入	12 位无符号	12 位无符号	在数据寄存器上给定
分辨率	2.5mV(10V/4 000)	4μA(16mA /4 000)	
转换精度	±1% FS		
处理时间	200μs		执行 END 指令时处理
调整	不能偏移与增益调整		—
输出隔离	光耦合		—
占 I/O 点	0		
电源	DC 24V/150mA,5V/15mA		需要外部电源提供 DC24V



a) 电压输出　　b) 电流输出

图 7-129　FX_{3U}—4DA—ADP 的输出特性

（2）编程与控制　由 M82□0 ~ M82□9 及 D82□0 ~ D82□9 控制，“□”为扩展板号，第 1 ~ 4 扩展板 6 ~ 9，特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D 的功能见表 7-58。出错信息存储在 D82□8，以二进制位形式编程使用，出错状态（D82□8.6/D82□8.7）由 RST 清除。

表 7-58 FX_{3U}—4DA—ADP 辅助继电器与数据寄存器的功能

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
CH1 输出类型	M 8 260	M 8 270	M 8 280	M 8 290	0,0 ~ 10V 输出;1,4 ~ 20mA 输出
CH2 输出类型	M 8 261	M 8 271	M 8 281	M 8 291	
CH3 输出类型	M 8 262	M 8 272	M 8 282	M 8 292	
CH4 输出类型	M 8 263	M 8 273	M 8 283	M 8 293	
CH1 输出清除	M 8 264	M 8 274	M 8 284	M 8 294	0, PLC 由 RUN → STOP 时保持 D-A 输出不变;1,PLC 由 RUN→ STOP 时清除 D-A 输出
CH2 输出清除	M 8 265	M 8 275	M 8 285	M 8 295	
CH3 输出清除	M 8 266	M 8 276	M 8 286	M 8 296	
CH4 输出清除	M 8 267	M 8 277	M 8 287	M 8 297	
(D-A)1 输入	D 8 260	D 8 270	D 8 280	D 8 290	设定需 D-A 转换的数字量输入
(D-A)2 输入	D 8 261	D 8 271	D 8 281	D 8 291	
(D-A)3 输入	D 8 262	D 8 272	D 8 282	D 8 292	
(D-A)4 输入	D 8 263	D 8 273	D 8 283	D 8 293	
出错状态输出,以二进制位形式使用	D 8 268	D 8 278	D 8 288	D 8 298	bit0 ~ bit3,为 CH1 ~ 4 的 D-A 超范围出错;bit4, EEPROM 出错;bit5 ~ bit15,未使用
扩展板 ID 代码	D 8 269	D 8 279	D 8 289	D 8 299	固定“2”

五、模拟量输入模块

1. FX_{0N}—3A

FX_{0N}系列 PLC 的基本单元可连接 2 台 FX_{0N}—3A 模拟量单元；FX_{2N}—16M 及 FX_{2N}—32M 接 2 台 FX_{0N}—3A；FX_{2N}—48M、FX_{2N}—64M 和 FX_{2N}—128M 接 4 台 FX_{0N}—3A。

（1）性能指标　模拟量输入见表 7-59，模拟量输出见表 7-60，技术性能见表 7-61。

表 7-59 FX_{0N}—3A 的模拟量输入

项目	电压输入	电流输入
输入范围	DC 0 ~ 10V 输入电阻 200kΩ	4 ~ 20mA 输入电阻 250kΩ
数字输出	8 位(如字 255 以上,则固定为 255)	
变换时间	100μS	

表 7-60 FX_{0N}—3A 的模拟量输出

项目	电压输出	电流输出
输出范围	DC 0 ~ 10V 外部负载 1kΩ ~ 1MΩ	4 ~ 20mA 外部负载 500Ω 以下
数字输入	8 位	

表 7-61　FX_{0N}—3A 的技术性能

分辨率	40mV(10V/250),20mV(50V/250)	64μA(20～40mA/250)
总体精度	±1% FS	
绝缘方式	用热电偶及 DC/DC 变换器,对输出以及 PLC 的电源间进行绝缘	
模拟量电源	由 PLC 提供	
I/O 点数	8	

（2）BFM 分配见表 7-62。

表 7-62　FX_{0N}—3A 模拟量输入模块 BFM 分配

BFM	b15～b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
#0	保留	BFM#17 的 b0 选择 A-D 通道当前值输入数据							
#16		在 D-A 通道当前值输出数据(8 位)							
#17		保留					D-A 启动	A-D 启动	A-D 启动
#1～5,18～31	保留								

（3）编程　b0 = 0 选择 CH1；b0 = 1 选择 CH2；b1 = 0→1，启动 A-D 处理；b2 = 0→1，启动 D-A 处理。

指令格式　FROM　m1　m2　n

TO　m1　m2　n

（4）程序示例　见图 7-130。

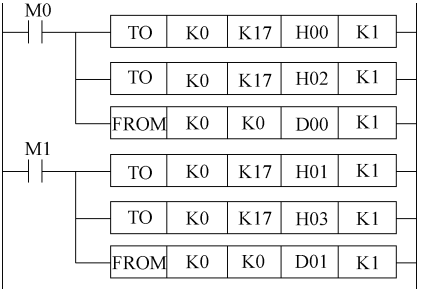


图 7-130　程序示例

（5）端子与接线　见图 7-131。

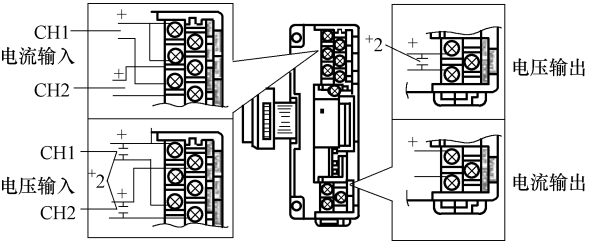


图 7-131　FX_{0N}—3A 的端子与接线

2. FX_{2N}—2AD

（1）性能指标 见表 7-63。

表 7-63 FX_{2N}—2AD 模拟量输入模块的性能指标

项目	输入电压	输入电流
模拟量输入	DC 0 ~ 10V, DC 0 ~ 5V	4 ~ 20 mA
数字输出	12 位	
分辨率	2.5mV(10V/4 000), 1.25mV(5V/4 000)	4μA(20 mA/4 000)
总体精度	±1% FS	
转换速度	2.5ms/通道(顺控和同步)	
隔离	模拟和数字电路间光隔离,直流/直流变压器隔离电源,通道之间无隔离	
电源规格	DC 5V,20mA(主单元提供内部电源);DC 24V(1 ±0.1)V,500 mA(主单元提供内部电源)	
I/O 点数	8	
适用型号	FX1N/FX2N/FX2NC(需 FX2NC-CNV-IF)	

(2) 输出特性 如图 7-132 所示，通过增益 GAIN 与偏移 OFFSET 调整，电位器调整对 CH1 与 CH2 同时有效。增益改变输出特性“斜率”，即改变单位输入对应的 A-D 输出，如将 5VDC 转换结果调到4 000。偏移改变 A-D 输出“0”所对应的输入值，如将 4mA 输入 A-D 转换调整为“0”等，见图 7-133。

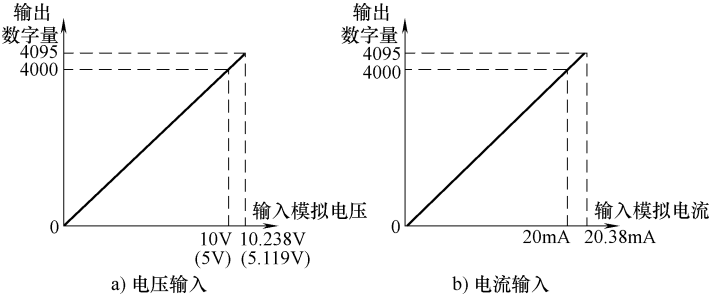


图 7-132 FX_{2N}—2AD 的输出特性

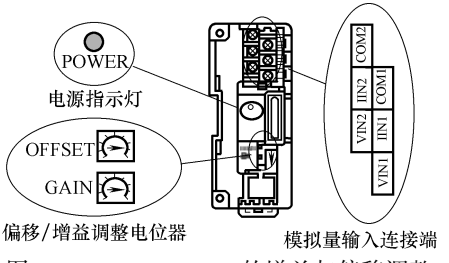


图 7-133 FX_{2N}—2AD 的增益与偏移调整

（3）安装与接线　FX_{2N}—2AD 的安装位置见图 7-134，接线方式见图 7-135；应连接到基本单元右侧，FX_{2N} 系列 PLC 可连接不多于 8 台 FX_{2N}—2AD 模块。

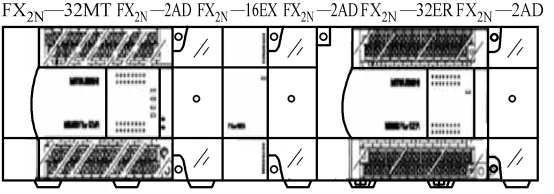


图 7-134　FX_{2N}—2AD 的安装位置

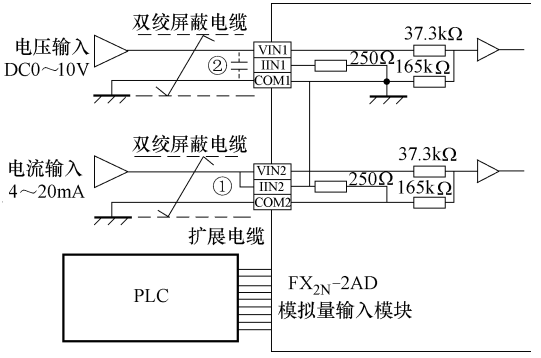


图 7-135　FX_{2N}—2AD 的接线方式

（4）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-64。

表 7-64　FX_{2N}—2AD 模拟量输入模块缓冲存储器 BFM 分配

BFM 号	b15～b8	b7～b4	b3	b2	b1	b0
#0	没有用	当前输入值的低 8 位				
#1	没有用		当前输入值的高 4 位			
#2～#16	保留					
#17	没有用				A-D 转换开始	A-D 转换通道指定
#18	没有用					

缓冲存储器由 TO 向 BFM#17 写入 A-D 命令即可启动 A-D。

BFM#17 b0：A-D 通道指定，b0＝0，指定 CH1，b0＝1，指定 CH2。

BFM#17 b1＝0→1，A-D 开始转换 A-D 启动命令。A-D 结果 BFM#0 中，FROM 读到 PLC。

BFM#0 bit7～bit0：A-D 低 8 位，BFM#0 高字节 bit15～bit8 内容保留。

BFM#1 bit3 ~ bit0：A-D 高 4 位，BFM#1bit15 ~ bit4 内容保留。

一次 A-D 启动命令只能 CH1 的 A-D 转换，CH2 转换需编写 2 组控制命令。

（5）程序示例　A-D 读入，见图 7-136。X0/X1 = 1 时，CH1、CH2 输入 A-D 存储到 D100、D102，见图 7-137。

图 7-136　A-D 读入

由图 7-137 得到 A-D 瞬时值，可多次采样取平均值，但 FX_{2N}—2AD 无此功能。程序后增加图 7-138 程序，采样 10 次 A-D 平均值。

图 7-137　FX_{2N}—2AD 的编程示例

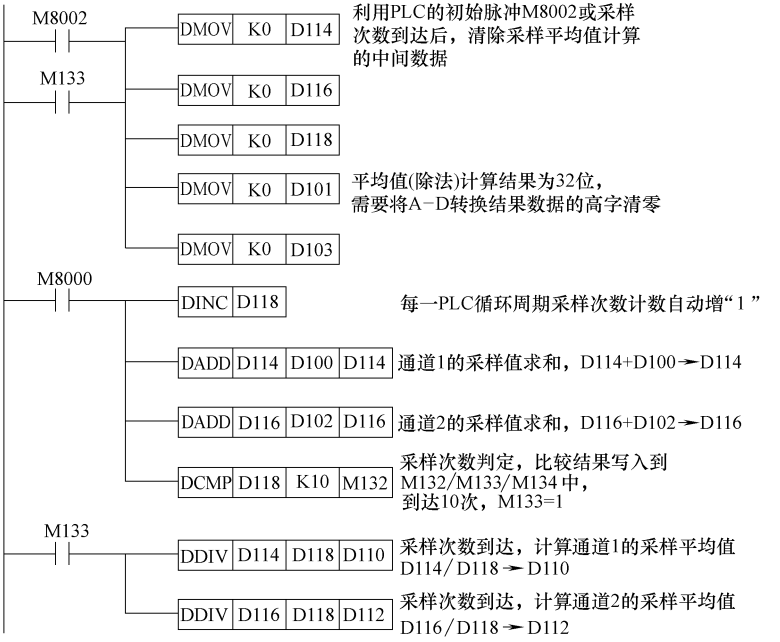


图 7-138　FX_{2N}—2AD 的平均值计算

3. FX_{2N}—4AD

每个通道由参数设定电压或电流输出；FX_{2N}系列接该模块≤8 台。扩展电缆与基本或扩展单元连接。其性能指标见表 7-65。

表 7-65　FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块的性能指标

项目	输入电压	输入电流
输入范围	DC －10 ~ ＋10V，DC 0 ~ 5V	DC －20 ~ ＋20mA
数字输出范围	带符号位 12 位二进制，超＋2 047固定为＋2 047，－2 048以下固定为－2 048	
分辨率	5mV(10V×1/2 000)	20μA(20 mA×1/1 000)
总体精度	±1%(相对于最大值)	
转换速度	15ms/(1 ~4CH)(高速转换方式为 6 ms×(1 ~4)通道)	
隔离	模拟和数字电路间光隔离，直流/直流变压器隔离主单元电源，模拟通道之间无隔离	
模拟量用电源	DC24V(1 ±0. 1)，55 mA	
I/O 点数	8	

（1）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-66。BFM#0 需写入到 FX_{2N}—4AD 的 EEPROM 中，TO 修改 BFM#0 后 300ms 以上 EEPROM 生效。通道输入类型确定后，按正常转换速度自动启动 A-D 转换，如高速 A-D 转换，设 BFM#15 = 01H，此时输入类型自动设置成“0 000H”，恢复正常速度时需重新设输入类型。

表 7-66　FX_{2N}—4AD 模拟量输入模块缓冲存储器 BFM 分配

<table>
<tr><th>BFM</th><th colspan="9">内　　容</th></tr>
<tr><td>0#</td><td colspan="9">初始化通道表示 H□□□□，缺省值 H 0 000。从低到高 CH1 ~ CH4。□ = 0时输入 - 10 ~ + 10V；□ = 1 时输入 + 4 ~ + 20 mA；□ = 2 时输入 - 20 ~ + 20 mA；□ = 3 时关闭该通道</td></tr>
<tr><td>1#</td><td>CH1</td><td colspan="8" rowspan="4">各通道平均值取样次数设 1 ~ 4 096，如超范围时按缺省值 8 次处理。平均采样处理</td></tr>
<tr><td>2#</td><td>CH2</td></tr>
<tr><td>3#</td><td>CH3</td></tr>
<tr><td>4#</td><td>CH4</td></tr>
<tr><td>5#</td><td>CH1</td><td colspan="8" rowspan="4">采样输入的平均值</td></tr>
<tr><td>6#</td><td>CH2</td></tr>
<tr><td>7#</td><td>CH3</td></tr>
<tr><td>8#</td><td>CH4</td></tr>
<tr><td>9#</td><td>CH1</td><td colspan="8" rowspan="4">采样输入的当前值</td></tr>
<tr><td>10#</td><td>CH2</td></tr>
<tr><td>11#</td><td>CH3</td></tr>
<tr><td>12#</td><td>CH4</td></tr>
<tr><td>13 ~ 14#</td><td colspan="9">不用</td></tr>
<tr><td>15#</td><td colspan="9">转换速度选择：置 0 时为 15ms/通道，置 1 时为 6ms/通道</td></tr>
<tr><td>16 ~ 19#</td><td colspan="9">不用</td></tr>
<tr><td>20#</td><td colspan="9">置 1 时，设定均回到缺省设定值；置 0 时，设定不改变</td></tr>
<tr><td>21#</td><td colspan="9">增益和零点设定值的调整。（b1，b0）置（1，0），禁止改动；（b1，b0）置（0，1），可改动。零点：数字量输出为 0 时的输入值，增益：数字量输出为 + 1 000时的输入值</td></tr>
<tr><td>22#</td><td colspan="2" rowspan="2">零点和增益调节</td><td>B7</td><td>B6</td><td>B5</td><td>B4</td><td>B3</td><td>B2</td><td>B1</td><td>B0</td></tr>
<tr><td>G4</td><td>O4</td><td>G3</td><td>O3</td><td>G2</td><td>O2</td><td>G1</td><td>O1</td></tr>
<tr><td>23#</td><td>零点值</td><td colspan="8" rowspan="2">需要调整的输入通道由 BFM22#的 G-O（增益—零点）位的状态指定。如 BFM22#的 G1、O1 位置 1，则 BFM23#和 24 设定值即可送入 CH1 的增益和零点寄存器。各通道增益和零点可统一调整或独立调整</td></tr>
<tr><td>24#</td><td>增益值</td></tr>
<tr><td>25 ~ 28#</td><td colspan="9">不用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">29#</td><td colspan="9">状态错误信息</td></tr>
<tr><td colspan="9">从 b15 ~ b0 位</td></tr>
<tr><td>30#</td><td colspan="9">特殊模块识别码，FROM 读入</td></tr>
<tr><td>31#</td><td colspan="9">不用</td></tr>
</table>

（2）增益及其调整（见图 7-139）　设 BFM#21 = 01H，TO 写入，增益与偏移调整；BFM#23 中用 TO 写入偏移值。BFM#24 中用 TO 写入增益值，增益设定值是 A-D 数字量输出1 000对应的输入值，输入单位、范围与 BFM #23 相同；BFM#22 中用 TO 写入控制命令，选定需增益与偏移调整的通道。BFM#22 以二进制位设定，对应位 bit0/bit2/bit4/bit6 = 1 时，通道 1/2/3/4 偏移调整有效；bit1/bit3/bit5/bit7 = 1 时，通道 1/2/3/4 增益调整有效。

设 BFM#22 对应位 = 1 时，BFM#23/BFM#24 中偏移/增益被写到指定通道；设“0”通道的偏移/增益不变。偏移/增益值相同的多个通道可 1 次设定，如 BFM # 22 = FFH，则 BFM # 23/BFM # 24 设定偏移/增益同时写入CH1 ~ CH4。

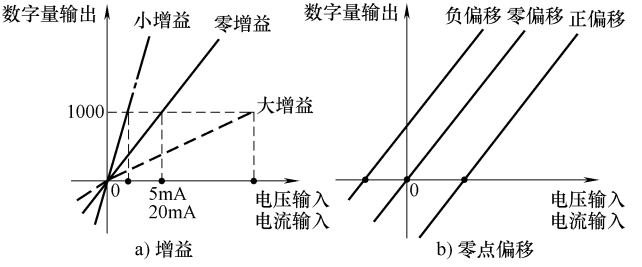


图 7-139　增益的含义

以上偏移/增益调整完成，TO 写入 BFM#21 = 02H，禁止增益/偏移调整，相当于调整加密。偏移/增益参数 BFM#23/#24 后延时 300 ms 以上，EEPROM 生效。

（3）安装与接线　如图 7-140 所示，双绞线屏蔽电缆输入；电压接入端接 0.1 ~ 0.47μF/25V 电容器；电流输入时 V + 和 I + 端子短接；如现场电气干扰复杂，基本单元 FG 端与特殊模块接地端连接；特殊模块接地端与基本单元连接接地端，如可行，基本单元使用 3 级接地。

（4）输出特性　见图 7-141。

（5）出错信息　出错信息存 BFM#29，二进制位形式，正常位“0”，对应位“1”的含义如下：

bit0，A-D 出错，由 bit1 ~ bit3 检查，bit1 ~ bit3 任一位为“1”，bit0 = 1。

bit1，偏移/增益调整出错；bit2，输入电源错误；bit3，模块硬件故障；bit10，A-D 超范围；bit11，采样次数设定错误；bit12，增益与偏移量调整被 BFM#21 禁止。

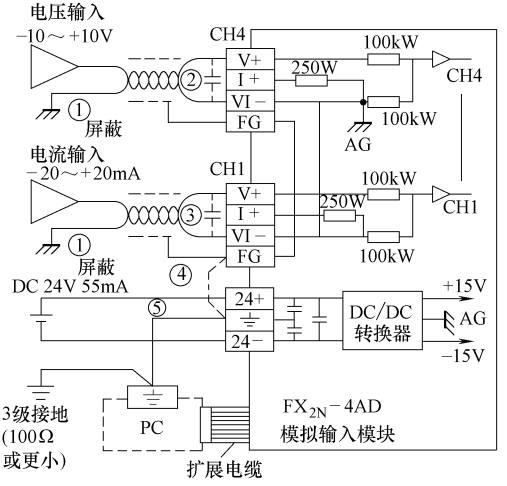
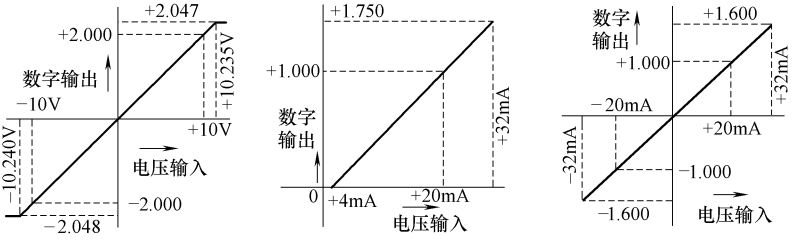


图 7-140　FX_{2N}—4AD 的接线方式



a) 预设0(−10～10V)　　b) 预设1(4～20mA)　　c) 预设2(−20～20mA)

图 7-141　FX_{2N}—4AD 的输出特性

（6）编程示例　某系统 CH1、CH2 为 −10～10V 输入，CH3、CH4 不用。模块信息 ID 正确时执行 A-D；对 CH1、CH2 进行 A-D 转换，4 次采样平均，转换结果 −2 000～2 000，转换速度为正常值；如 A-D 正确则存储到 D0/D1 中，见图 7-142。再如某系统 X10 = 1 时，CH1：DC −5～5V 输入，±5V对应 A-D 转换字 ±2 000，0V 对应 A-D 转换值 0；CH2～4：DC −10～10V 输入，±10V 对应 A-D 转换字 ±2 000，0V 对应 A-D 转换值 0，见图 7-143。

4. FX_{2N}—8AD

FX_{2N}—8AD 模拟量输入模块的技术性能见表 7-67。扩展电缆与基本单

元或扩展单元连接。

图 7-142　FX_{2N}—4AD 的编程示例

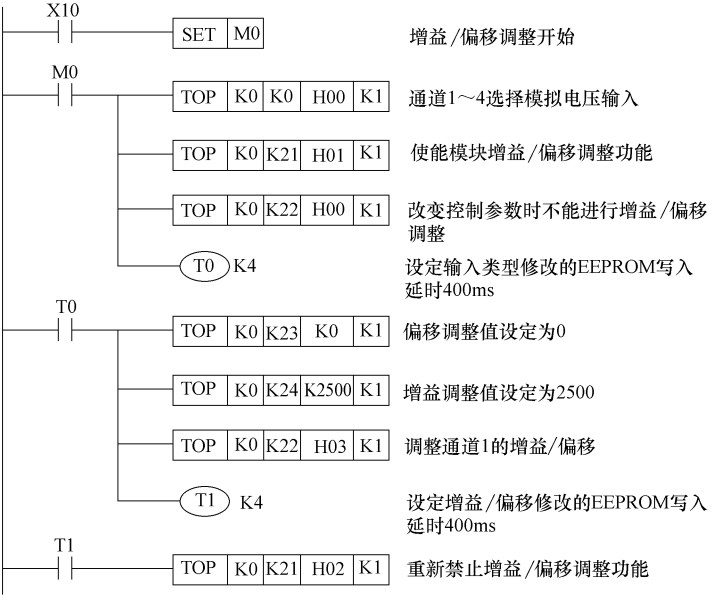


图 7-143　FX_{2N}—4AD 偏移/增益调整示例

表 7-67　FX_{2N}—8AD 模拟量输入模块的技术性能

项目	参数		
	电压输入	电流输入	热电偶输入
输入点数	8 通道		
输入	DC －10～10V	4～20mA 或－20～20mA	－100～1 200℃(K 型) －100～600℃(J 型) －100～350℃(T 型)
输入极限	DC －15～15V	DC －30～30mA	—
输入电阻	200kΩ	250Ω	—
字输出	带符号 15 位	带符号 14 位	带符号 15 位
分辨率	0.63mV (－10～10V/32 000) 2.5mV (－10～10V/8 000)	2.5μA (－20～20mA 输入/16 000) 5μA (－20～20mA 输入/8 000) 2.5μA (4～20mA 输入/8 000) 4μA (4～20mA 输入/4 000)	0.1℃
转换精度	±0.5% FS		±1% FS
处理时间	0.5ms/CH		40ms/CH
调整	偏移/增益调节(数字调节,需编程)		
输出隔离	光耦合		
I/O 点数	8		
电源	DC 24V/80mA(外供),5V/50mA(PLC 供)		

(1) 输出特性　FX_{2N}—8AD 的输出特性见图 7-144。

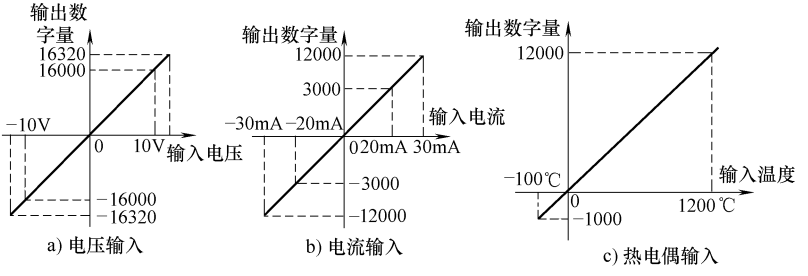


图 7-144　FX_{2N}—8AD 的输出特性

(2) 缓冲存储器 BFM 参数　见表 7-68。

表 7-68　FX_{2N}—8AD 的缓冲存储器 BFM 参数

BFM	名称	作用与功能	参数类型	参数范围
#0	输入类型选择	选 CH1 ~ CH4 输入形式	控制命令	0 000H ~ FFFFH
#1		选 CH5 ~ CH8 输入形式		
#2 ~ #9	CH1 ~ 8 采样次数 n 设定	设计算 A-D 平均值的采样次数	控制参数	1 ~ 4 095
#10 ~ #17	CH1 ~ 8 的 A-D 输出	CH1 ~ 8 的 A-D 采样瞬时值或平均值	结果输出	与输入类型有关
#18	保留	不能改变	—	—
#19	输入特性修改的禁止/使能	1,允许修改输入特性定义 BFM#0/#1/#21/#22 2,禁止修改	控制命令	1/2
#20	模块初始化	1,全部参数恢复为出厂设定,初始化后自动恢复“0”		0/1
#21	增益/偏移调整通道选择与参数写入	对应位为“1”,增益/偏移参数写到指定通道,完成后自动恢复“0”		0 000H ~ 00FFH
#22	A-D 附加功能选择	bit0 = 1:内部偏置有效;Bitl = 1:上/下限监控有效;bit2 = 1:变化率监控有效;bit3 = 1:峰值保持有效	控制参数	0 000H ~ 000FH
#23	保留	不能改变	—	—
#24	高速转换通道选择	设定 1 ~ 8:选择高速通道号 设定 0:不使用高速功能	控制参数	0 ~ 8
#25	保留	不能改变	—	—
#26	上/下限超报警输出	bit0/bit2/bit4/bit6/bit8/bitl0/bit12/bit14 = 1 时,依次 CH1 ~ 8 的 A-D 值小于#71 ~ #78 设定的下限 bitl/bit3/bit5/bit7/bit9/bitll/bit13/bit15 = 1 时,依次 CH1 ~ CH8 的 A-D 值大于#81 ~ #88 设定的上限	出错信息	—

（续）

BFM	名称	作用与功能	参数类型	参数范围
#27	变化率超报警输出	bit0/bit2/bit4/bit6/bit8/bit10/bit12/bit14 = 1 时，依次 CH1 ~ CH8 的 A-D 值负向变化率超过 #91 ~ #98 设定极限 bit1/bit3/bit5/bit7/bit9/bit11/bit13/bit15 = 1 时，依次 CH1 ~ CH8 的 A-D 值正向变化率超过 #91 ~ #98 设定极限	出错信息	—
#28	模拟量输入监控报警输出	bit0/bit2/bit4/bit6/bit8/bit10/bit12/bit14 = 1 时，依次 CH1 ~ CH8 模拟量输入小于下限报警 bit1/bit3/bit5/bit7/bit9/bit11/bit13/bit15 = 1 时，依次 CH1 ~ CH8 模拟量输入大于上限报警		—
#29	出错信息	模块错误报警输出		—
#30	模块 ID 代码	规定2 050	状态输出	2 050
#31	保留	不能改变	—	—
#32	模块运行时间	指示模块通电运行时间，电源 OFF 后自动复位	状态输出	0 ~ 64 800s
#33 ~ #40	保留	不能改变	—	—
#41 ~ #48	CH1 ~ CH8 偏移设定	CH1 ~ CH8 偏移设定（输出“0”对应的模拟量输入），设定与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#49/ #50	保留	不能改变	—	—
#51 ~ #58	CH1 ~ CH8 增益设定	CH1 ~ CH8 的增益设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#59/ #60	保留	不能改变	—	—
#61 ~ #68	CH1 ~ CH8 内部偏置设定	CH1 ~ CH8 内部偏置设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#69/ #70	保留	不能改变	—	—
#71 ~ #78	A-D 值监控下限	CH1 ~ CH8 的 A-D 下限监控值设定，与输入类型有关	控制参数	与输入类型有关

（续）

BFM	名称	作用与功能	参数类型	参数范围
#79/ #80	保留	不能改变	—	—
#81 ~ #88	A-D 值监控上限	CH1 ~ CH8 的 A-D 上限监控值设定，与输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#89/ #90	保留	不能改变	—	—
#91 ~ #98	A-D 值变化率极限	CH1 ~ CH8 的 A-D 值变化率极限设定，与输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#99/ #100	保留	不能改变	—	—
#101 ~ #108	CH1 ~ CH8 的最小值存储	记录 A-D 转换结果的最小值（峰值）	结果输出	与输入类型有关
#109	CH1 ~ CH8 的最小值清除	bit0 ~ bit7 = 1，可依次清除最小值存储参数#101 ~ #108 的值	控制命令	0 000 ~ 00FFH
#110	保留	不能改变	—	—
#111 ~ #118	CH1 ~ CH8 的最大值存储	记录 A-D 结果的最大值（峰值）	结果输出	与输入类型有关
#119	CH1 ~ CH8 的最大值清除	bit0 ~ bit7 = 1，可依次清除最大值存储参数#111 ~ #118 的值	控制命令	0 000 ~ 00FFH
#120 ~ #197	保留	不能改变	—	—
#198	瞬时采样时间间隔	采样次数为 1 时，设定 A-D 瞬时值采样的时间间隔	控制参数	0 ~ 30 000ms
#199	A-D 结果记录清除与记录暂停控制	低字节清除 A-D 结果记录，高字节暂停 A-D 结果记录	控制命令	0 000 ~ FFFFH
#200 ~ #599	(A-D)1 记录	从(A-D)1 ~ (A-D)8，分别保存 CH1 ~ CH8 的前 1 ~ 400 次 A-D 结果	结果输出	与输入类型有关
#600 ~ #999	(A-D)2 记录			
#100 ~ #1 399	(A-D)3 记录			
#1 400 ~ #1 799	(A-D)4 记录			
#1 800 ~ #2 199	(A-D)5 记录			
#2 200 ~ #2 599	(A-D)6 记录			
#2 600 ~ #2 999	(A-D)7 记录			
#3 000 ~ #3 399	(A-D)8 记录			

（3）输入类型　由 BFM#0/BFM#1 选择，BFM#0 由低到高对应 CH1 ~ CH4；BFM#1 由低到高对应 CH5 ~ CH8。输入类型修改需 5s 左右。BFM#0/BFM#1 不同设定将影响 A-D 增益、偏移、上/下限、变化率检测设定等，设

定意义及对其他参数见表 7-69，不用的设“F”。

表 7-69 FX_{2N}—8AD 模拟量输入类型

BFM#0/BFM#1 设定	0	1	2	3	4
输入类型	电压			电流	
输入范围	-10～10V			4～20mA	
输入分辨率	0.63mV	2.5mV	1mV	2μA	4μA
A-D 输出范围	-16 000～16 000	-4 000～4 000	-10 000～10 000	0～8 000	0～4 000
输入监控范围（BFM#28 报警）	<-10.240V 或 >10.235V			>20.470mA	
BFM#41～BFM#48 偏移设定范围	-10 000～9 000mV			-20 000～17 000μA	
初始偏移设定值	0	0	0（不能改变）	4 000	4 000
BFM#51～BFM#58 增益设定范围	1 000～10 000mV			3 000～30 000μA	
增益设定对应的 A-D 值输出	8 000	2 000	5 000	8 000	4 000
初始增益设定值	5 000mV	5 000mV	5 000mV	20 000μA	20 000μA
A-D 上/下限范围（#71～#78/#81～BFM#88）	-16 384～16 383	-4 096～4 095	-10 200～10 200	-1～8 191	-1～4 095
下限初始值#71～#78	-16 384	-4 096	-10 200	-1	-1
上限初始值#81～#88	16 383	4 095	10 200	8 191	4 095
变化率设定范围（#91～#98）	1～16 383	1～4 095	1～10 000	1～4 095	1～2 047
变化率检测初始值	1 600	400	1 000	400	200
#0/#1 设定	5	6	7	8	9
模拟量输入类型	电流	电流	电流	电流	K 型热电偶
模拟量输入范围	4～20mA	-20～20mA	-20～20mA	-20～20mA	-100～1 200℃
输入分辨率	2μA	2.5μA	5μA	2.5μA	0.1℃
A-D 转换输出范围	4 000～20 000	-8 000～8 000	-4 000～4 000	-20 000～20 000	-1 000～12 000
模拟量输入监控范围（#28 报警）	>20.470mA	<20.480mA 或 >20.470mA			<-100℃ 或 >1 200℃
BFM#41～#48 偏移设定范围	-20 000～17 000μA	-20 000～17 000μA			—

（续）

#0/#1 设定	5	6	7	8	9
初始偏移设定值	4 000 （不能改变）	0	0	0 （不能改变）	—
BFM#51 ~ #58 增益设定范围	3 000 ~ 30 000μA	3 000 ~ 30 000μA			—
增益设定对应 的 A-D 值输出	20 000	8 000	4 000	20 000	—
初始增益设定值	20 000μA	20 000μA	20 000μA	20 000μA	—
A-D 转换上/下限设定 范围（BFM#71 ~ #78/ BFM #81 ~ #88）	3 999 ~ 20 400	-8 192 ~ 8 191	-4 096 ~ 4 095	-20 400 ~ 20 400	-1 000 ~ 12 000
下限初始值 BFM#71 ~ #78	3 999	-8 192	-4 096	-20 400	-1 000
上限初始值 BFM#81 ~ #88	20 400	8 191	4 095	20 400	12 000
变化率设定范围 （BFM#91 ~ #98）	1 ~ 8 191	1 ~ 8 191	1 ~ 4 095	1 ~ 20 000	1 ~ 6 500
变化率检测初始值	800	800	400	2 000	650
BFM#0/BFM#1 设定	A	B	C	D	E
热电偶输入类型	J 型	T 型	K 型	J 型	T 型
温度输入范围	-100 ~ 600℃	-100 ~ 350℃	-148 ~ 2 192℉	-148 ~ 1 112℉	-148 ~ 662 ℉
输入分辨率	0.1℃	0.1℃	0.1 ℉	0.1 ℉	0.1 ℉
A-D 输出范围	-1 000 ~ 6 000	-1 000 ~ 3 500	-1 480 ~ 21 920	-1 480 ~ 11 120	-1 480 ~ 6 620
模拟量输入监控 范围（#28 报警）	< -100℃ 或 > 600℃	< -100℃ 或 > 350℃	< -148 ℉ 或 > 2 192℉	< -148 ℉ 或 > 1 112℉	< -148 ℉ 或 > 662 ℉
#41 ~ #48 偏移 设定范围	—	—	—	—	—
初始偏移设定值	—	—	—	—	—
#51 ~ #58 增益 设定范围	—	—	—	—	—
增益设定对应 的 A-D 值输出	—	—	—	—	—
初始增益设定值	—	—	—	—	—
A-D 转换上/下限设定 （#71 ~ #78/#81 ~ #88）	-1 000 ~ 6 000	-1 000 ~ 3 500	-1 480 ~ 21 920	-1 480 ~ 11 120	-1 480 ~ 6 620
下限初始值#71 ~ #78	-1 000	-1 000	-1 480	-1 480	-1 480
上限初始值#81 ~ #88	6 000	3 500	21 920	11 120	6 620
变化率设定（#91 ~ #98）	1 ~ 3 500	1 ~ 4 500	1 ~ 11 700	1 ~ 6 300	1 ~ 4 050
变化率检测初始值	350	450	1 170	630	405

（4）附加功能及设定　A-D 转换时可用输入监控、内部偏置设定、上/

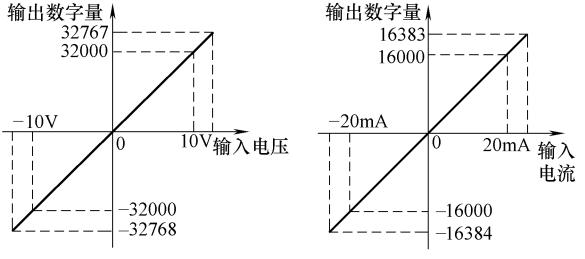
下限监控、变化率监控等功能，其中模拟量输入监控功能始终有效，其余监控由 BFM#22 的 bit ~ bit3 设定；上/下限监控与变化率监控报警由 BFM#99 清除。

5. FX_{3U}—4AD

FX_{3U}—4AD 模拟量输入模块，只用于 FX_{3U} 系列，扩展电缆与基本单元或扩展单元连接。其技术性能见表 7-70，输出特性见图 7-145，由偏移/增益调整改变，可分通道独立设定。

表 7-70　FX_{3U}—4AD 模拟量输入模块的技术性能

项目	参数		备注
	电压输入	电流输入	
输入点数	4 通道		4 通道输入类型可不同
输入	DC －10 ~ 10V	DC 4 ~ 20mA 或 －20 ~ 20mA	
输入极限	DC －15 ~ 15V	DC －30 ~ 30mA	输入超极限 可能损坏模块
输入电阻	200kΩ	250Ω	
数字输出	16 位(带符号)	15 位(带符号)	
分辨率	0.32mV(32 000/10V)	0.25μA(16 000/20mA 输入)	
转换精度	±0.5%		
处理时间	0.5ms/CH		
调整	偏移/增益调节		数字调节(需编程)
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
I/O 点数	8		
电源	DC 24V/80mA, 5V/110mA		DC 24V(外供)



a) 电压输入　　b) 电流输入

图 7-145　FX_{3U}—4AD 典型输出特性

（1）缓冲存储器 BFM 参数　见表 7-71。

表 7-71　FX_{3U}—4AD 的缓冲存储器 BFM 参数

BFM	名称	作用与功能	类型	范围
#0	输入类型	CH1 ~ CH4 输入形式	控制命令	0 000H ~ FFFFH
#1	保留	不能改变	—	—
#2 ~ #5	CH1 ~ CH4 的采样次数	设定计算 A-D 平均值的采样次数	控制参数	1 ~ 4 095
#6 ~ #9	CH1 ~ CH4 的输入滤波时间	设定 CH1 ~ CH4 输入滤波时间常数		1 ~ 1 600
#10 ~ #13	CH1 ~ CH4 的 A-D 结果输出	CH1 ~ CH4 的 A-D 瞬时采样值或采样平均值	结果输出	与输入类型有关
#14 ~ #18	保留	不能改变	—	—
#19	输入特性修改的禁止/使能	2 080：允许修改模块输入特性定义 BFM#0/BFM#20/BFM#21/BFM#22，BFM#41 ~ BFM#44，BFM#51 ~ BFM#54，BFM#125 ~ BFM#129，BFM#198 其他：禁止修改	控制命令	2 080
#20	模块初始化	1：全部参数恢复出厂设定，初始化后自动恢复“0”		0/1
#21	增益/偏移调整通道选择与参数写入	对应位为“1”，增益/偏移调整参数写入到指定通道，写入完成后自动恢复“0”		0 000H ~ 000FH
#22	A-D 附加功能选择	二进制位形式设定“1”有效意义。bit0，内部偏置；bit1，上/下限监控；bit2，变化率监控；bit3，峰值保持；bit4，峰值自动传送；bit5，上/下限报警自动传送；bit6，变化率监控报警自动传送；bit7，输入范围监控报警自动传送；bit8，A-D 转换出错报警自动传送	控制参数	0 000H ~ 000FH

（续）

BFM	名称	作用与功能	类型	范围
#23 ~ #25	保留	不能改变	—	—
#26	上/下限超报警输出	bit0/2/4/6/8/10/12/14 = 1，依次 CH1 ~ CH8 的 A-D 值小于 BFM#71 ~ #78 设定下限 bit1/3/5/7/9/11/13/15 = 1，依次 CH1 ~ CH8 的 A-D 值大于 BFM#81 ~ #88 设定的上限	出错信息	—
#27	变化率超过报警输出	bit0/2/4/6/8/10/12/14 = 1，依次为 CH1 ~ CH8 的 A-D 值负向变化率超过 BFM#91 ~ #98 设定极限 bit1/3/5/7/9/11/13/15 = 1，依次为 CH1 ~ CH8 的 A-D 值的正向变化率超过 BFM#91 ~ #98 设定极限		—
#28	模拟量输入监控报警输出	bit0/2/4/6/8/10/12/14 = 1，依次为 CH1 ~ CH8的模拟量输入小于下限报警 bit1/3/5/7/9/11/13/15 = 1，依次为 CH1 ~ CH8的模拟量输入大于上限报警		—
#29	出错信息	模块错误报警输出		—
#30	模块 ID 代码	2 080	状态输出	2 080
#31 ~ #40	保留	不能改变	—	—
#41 ~ #44	CH1 ~ CH4 偏移设定	CH1 ~ CH4 偏移设定（输出“0”对应的模拟量输入），设定与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#45 ~ #50	保留	不能改变	—	—
#51 ~ #54	CH1 ~ CH4 增益设定	CH1 ~ CH4 的增益设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#55 ~ #60	保留	不能改变	—	—

（续）

BFM	名称	作用与功能	类型	范围
#61 ~ #64	CH1 ~ CH4 内部偏置设定	CH1 ~ CH4 的内部偏置设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#65 ~ #70	保留	不能改变	—	—
#71 ~ #74	A-D 转换值监控下限	CH1 ~ CH4 的 A-D 转换下限监控值设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#75 ~ #80	保留	不能改变	—	—
#81 ~ #84	A-D 转换值监控上限	CH1 ~ CH4 的 A-D 上限监控值设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#85 ~ #90	保留	不能改变	—	—
#91 ~ #94	A-D 转换值变化率极限	CH1 ~ CH4 的 A-D 值变化率极限设定，与模拟量输入类型有关	控制参数	与输入类型有关
#95 ~ #100	保留	不能改变	—	—
#101 ~ #104	CH1 ~ CH4 的最小值存储	记录 A-D 结果的最小值（峰值）	结果输出	
#105 ~ #108	保留	不能改变	—	—
#109	CH1 ~ CH4 的最小值清除	bit0 ~ bit3 = 1，清除 BFM#101 ~ #104 参数的最小值	控制命令	
#110	保留	不能改变	—	—
#111 ~ #114	CH1 ~ CH4 的最大值存储	记录 A-D 结果的最大值（峰值）	结果输出	
#115 ~ #118	保留	不能改变	—	—
#119	CH1 ~ CH4 的最大值清除	bit0 ~ bit3 = 1，清除 BFM#111 ~ BFM#114 参数的最大值	控制命令	
#120 ~ #124	保留	不能改变	—	—
#125	最小值/最大值目标寄存器	峰值自动传送的目标寄存器	控制参数	0 ~ 7 999
#126	上/下限出错信息目标寄存器	上/下限监控报警自动传送的目标寄存器		
#127	变化率超信息目标寄存器	变化率监控报警自动传送的目标寄存器		

（续）

BFM	名称	作用与功能	类型	范围
#128	输入超出错目标寄存器	输入监控报警自动传送的目标寄存器	控制参数	0 ~ 7 999
#129	模块出错目标寄存器	A-D 出错自动传送的目标寄存器		
#130 ~ #196	保留	不能改变	—	—
#197	转换结果记录功能设定	设定转换结果记录功能	控制参数	0 000 ~ 000FH
#198	瞬时采样时间间隔	采样次数为 1 时，设定 A-D 瞬时值采样的时间间隔		0 ~ 30 000ms
#199	A-D 结果记录清除与记录暂停控制	低字节清除 A-D 记录，高字节暂停 A-D 记录	控制命令	
#200 ~ #1 899	CH1 的 A-D 记录	保存 CH1 的前1 700 次 A-D 结果	果输出	
#1 900 ~ #3 599	CH2 的 A-D 记录	保存 CH2 的前1 700 次 A-D 结果		
#3 600 ~ #5 299	CH3 的 A-D 记录	保存 CH3 的前1 700 次 A-D 结果		
#5 300 ~ #6 999	CH4 的 A-D 记录	保存 CH4 的前1 700 次 A-D 结果		
#7 000 ~ #8 063	保留	不能改变	—	—

（2）输入类型　输入类型修改需 5s。BFM#0 设定影响 A-D 增益/偏移、上/下限设定、变化率检测设定等，设定意义及其他参数见表 7-72，不用通道设“F”。

表 7-72　FX_{3U}—4AD 模拟量输入类型

BFM#0 设定	0	1	2	3	4
输入类型	电压	电压	电压	电流	电流
输入范围	－10 ~ 10V	－10 ~ 10V	－10 ~ 10V	4 ~ 20mA	4 ~ 20mA
输入分辨率	0. 32mV	2. 5mV	1mV	1. 25μA	4μA
A-D 范围	－32 000 ~ 32 000	－4 000 ~ 4 000	－10 000 ~ 10 000	0 ~ 16 000	0 ~ 4 000
输入监控设定（#28 报警）	< －10. 2V 或 > 10. 2V			> 20. 4mA	
#41 ~ #44 偏移设定范围	－10 000 ~ 9 000mV			－20 000 ~ 17 000μA	

（续）

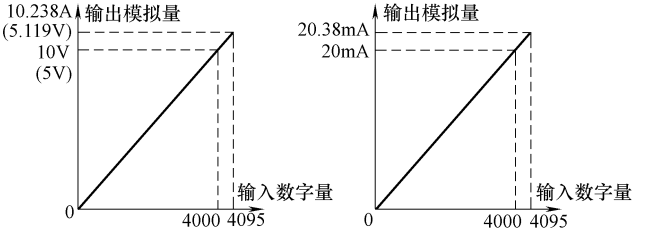
BFM#0 设定	0	1	2	3	4
初始偏移设定值	0	0	0 （不能改变）	4 000	4 000
#51 ~ #54 增益设定范围	-9 000 ~ 10 000mV			-17 000 ~ 30 000μA	
增益设定对应的 A-D 值输出	16 000	2 000	5 000 （不能改变）	16 000	4 000
初始增益设定值	5 000mV	5 000mV	5 000mV	20 000μA	20 000μA
A-D 上/下限设定范围（#71 ~ #74/#81 ~ #84）	-32 768 ~ 32 767	-4 096 ~ 4 095	-10 200 ~ 10 200	-1 ~ 16 383	-1 ~ 4 095
下限初始值 #71 ~ #74	-32 768	-4 096	-10 200	-1	-1
上限初始值 #81 ~ #84	32 767	4 095	10 200	16 383	4 095
变化率设定范围 （#91 ~ #94）	1 ~ 32 767	1 ~ 4 095	1 ~ 10 000	1 ~ 8 191	1 ~ 2 047
变化率检测初始值	3 200	400	1 000	800	200

BFM#0 设定	5	6	7	8	F
输入类型	电流				不使用
输入范围	4 ~ 20mA				—
输入分辨率	1μA	1.25μA	5μA	1μA	—
A-D 输出范围	4 000 ~ 20 000	-16 000 ~ 16 000	-4 000 ~ 4 000	-20 000 ~ 20 000	—
输入监控设定 （#28 报警）	>20.4mA	< -20.4mA 或 >20.4mA			—
#41 ~ #44 偏移设定范围	-20 000 ~ 17 000μA	-20 000 ~ 17 000μA			—
初始偏移设定值	4 000 （不能改变）	0	0	0 （不能改变）	—
BFM#51 ~ #54 增益设定范围	3 000 ~ 30 000μA	3 000 ~ 30 000μA			—
增益设定对应的 A-D 输出	20 000	16 000	4 000	20 000	—
初始增益设定值	20 000μA	20 000μA	20 000μA	20 000μA	—
A-D 上/下限设定范围（#71 ~ #74/#81 ~ #84）	3 999 ~ 20 400	-16 384 ~ 16 383	-4 096 ~ 4 095	-20 400 ~ 20 400	—
下限初始值 #71 ~ #74	3 999	-16 384	-4 096	-20 400	—
上限初始值 BFM#81 ~ BFM#84	20 400	16 383	4 095	20 400	—
变化率设定范围 （#91 ~ #94）	1 ~ 8 191	1 ~ 16 383	1 ~ 4 095	1 ~ 20 000	—
变化率检测初始值	800	1 600	400	2 000	—

六、模拟量输出模块

1. FX_{2N}—2DA

FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块通过扩展电缆与基本单元或扩展单元连接。其技术性能见表 7-73，输出特性见图 7-146，由增益/偏移电位器调整。CH1 与 CH2 独立调整，见图 7-147。D－A 值总是同时在电压与电流输出端输出。



a) 电压输出　　b) 电流输出

图 7-146　FX_{2N}—2DA 的输出特性

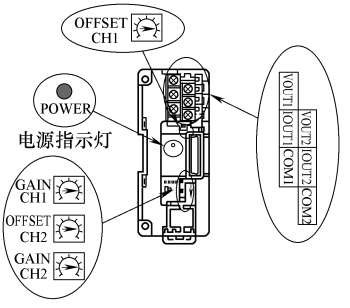


图 7-147　FX_{2N}—2DA 的增益/偏移调整

表 7-73　FX_{2N}—2DA 模拟量输出模块的技术性能

项目	参数		备注
	电压输出	电流输出	
输出点数	2 通道		
输出范围	DC 0～10V 或 0～5V	4～20mA	可输出不同,由接线选择
负载电阻	2kΩ～1MΩ	≤400Ω	
数字输入	12 位无符号		0～4 095
分辨率	2.5mV(DC 0～10V 输出), 1.25mV(DC 0～5V 输出)	4μA(4～20mA 输出)	

（续）

项目	参数		备注
	电压输出	电流输出	
转换精度	±1% FS		
处理时间	4ms/CH		
调整	偏移/增益调节		电位调节器
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
电源	DC 5V,30mA;DC 24V(1±10%)V,85mA		基本单元提供
I/O 点数	8		
适用控制器	$FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{2NC}$(需 FX_{2NC}-CNV-IF)		

（1）安装与接线　FX_{2N}—2DA 的接线方式见图 7-148，安装位置见图 7-149。

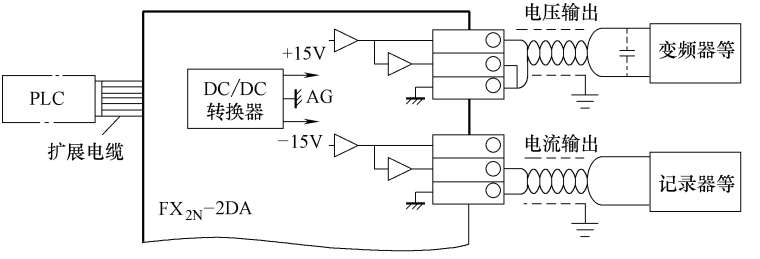


图 7-148　FX_{2N}—2DA 的接线方式

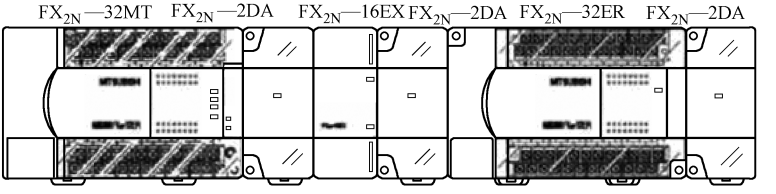


图 7-149　FX_{2N}—2DA 的安装位置

注意：电压输出端接 0.1～0.47μF/25V 电容器；电压输出时将 Iout 与 COM 短接。

（2）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-74。

表 7-74　缓冲存储器 BFM 分配

BFM 序号	b15～b8	b7～b3	b2	b1	b0
0#～15#	不用				
16#	没有用	输出的数字资源(8 位)			
17#	没有用		低位数据保持位	CH1 D-A 转换开始标注位	CH2 D-A 转换开始标注位
18#及其他	没有用				

（3）编程与控制　BFM17#含义为：当 b0 由 1→0 时，（D-A）2 转换开始；当 b1 由 1→0 时，（D-A）1 转换开始；当 b2 由 1→0 时，D-A 的低 8 位保持。D-A 输入数据由 TO 写入 BFM#16 的低字节，BFM#16 低字节只有 8 位，因此，12 位 D-A 分 2 次传送。具体工作过程如下：

将 12 位 D-A 低 8 位写入 BFM#16；由写控制命令 BFM#17 bit2 = 1，BFM#17 bit2 = 0，生成 BFM#17 bit2 的下降沿，生效模块 D-A 低 8 位输入保持功能；将 D-A 输入高 4 位数据写入 BFM#16；由写控制命令 BFM#17 bit1/bit0 = 1，BFM#17 bit1/bit0 = 0，生成 BFM#17 bit1/bit0 下降沿，启动 D-A 转换。

2. FX_{2N}—4DA

FX_{2N}—4DA 模拟量输出模块通过扩展电缆与基本单元或扩展单元相连接。FX_{2N}系列 PLC 可接该模块≤8 台。其技术性能见表 7-75，接线方式见图 7-150，输出特性见图 7-151。

表 7-75　FX_{2N}—4DA 模拟量输出模块的技术性能

项目	电压输入	电流输入
	电流或电压输出，用不同端子	
模拟量输出范围	DC －10～＋10V	DC 4～20mA
数字输入范围	带符号位的 12 位二进制，有效位为 11 位（－2 028～＋2 047） 电流输出（0～＋1 024）	
分辨率	5mV（10V×1/2 000）	2μA（20 mA×1/1 000）
隔离方式	模拟和数字电路间光隔离，直流/直流变压器隔离主单元电源，在模拟通道之间无隔离	
I/O 点数	8 点	
电源	由 PLC 供电，5V/30 mA	

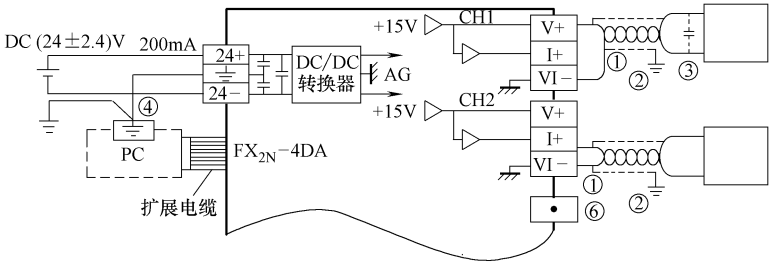


图 7-150　FX_{2N}—4DA 的接线方式

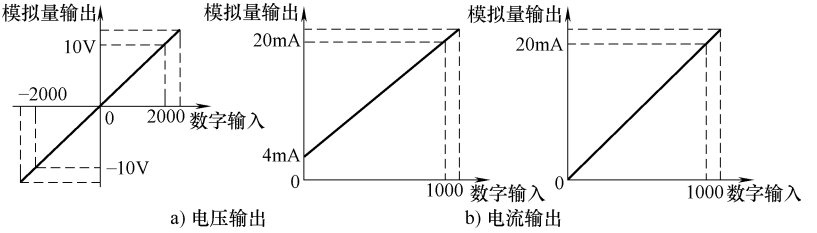


图 7-151　FX_{2N}—4DA 的输出特性

（1）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-76。

表 7-76　缓冲存储器 BFM 参数

BFM	内容	
0E#	初始化通道设为 H□□□□,缺省值 H 0 000。由低到高 CH1 ~ CH4。□ = 0 设定输入 −10 ~ +10V;□ = 1 设定输入 +4 ~ +20mA;□ = 2 设定输入 −20 ~ +20mA;□ = 3 关闭该通道	
1# ~ 4#	输出数据通道,初始值 0,输出 16 位的二进制数,第 12 位为符号位,低 11 位为输出值	
5E#	数据保持模式,□ = 0 时保持输出,□ = 1 时复位为偏移值	
6# ~ 7#	没有用	
8E#	CH1、CH2 偏移和增益设定,□ = 0 时不改变,□ = 1 时改变	
9E#	CH3、CH4 偏移和增益设定,□ = 0 时不改变,□ = 1 时改变	
10#	偏移值 CH1	单位,mV 或 μA 模式 0,初始偏移值 0 模式 1,初始偏移值 +4 000、初始增益值 +20 000 模式 2,初始偏移值 0、初始增益值 +20 000
11#	增益值 CH1	
12#	偏移值 CH2	
13#	增益值 CH2	
14#	偏移值 CH3	
15#	增益值 CH3	
16#	偏移值 CH4	
17#	增益值 CH4	
18# ~ 19#	没有用	
20E#	初始化,初始值 0,为 1 时,所有值被设为工厂设定值	
21E#	I/O 特性调节禁止功能,“1” 禁止,“2”允许	
22# ~ 28#	没有用	
29#	状态错误信息	
	从 b15 ~ b0 位	
30#	模块识别码	
31#	没有用	

（2）输出类型与输出保存　BFM#0 用于选择输出类型，写到 FX_{2N}—4DA 的 EEPROM 中，用 TO 修改 BFM#0 后延时 3s 以上，EEPROM 生效。通过 BFM#5 设定，选择当 PLC 从 RUN→STOP 时是否保持 D-A 输出。BFM#5 以 4 位 16 进制格式设定，由低到高依次 CH1 ~ CH4。增益/偏移调整通过程序实现。具体工作过程如下：

设定 BFM#21 =01H，TO 写入，具备增益/偏移调整功能；BFM#10 ~ #17 中设定偏移/增益值，TO 写入；BFM#8/BFM#9 中选择需增益/偏移调整的通道，TO 写入，以 4 位 16 进制设定；BFM#8/BFM#9 对应位为“1”时，BFM#10 ~ #17 中偏移/增益写到对应通道，设“0”的通道偏移/增益保持不变；偏移/增益调整完成，设 BFM#21 =02H，TO 写入，禁止增益与偏移调整。

（3）程序示例　X0 =1 时，CH1/2：将 D0/D1 中数字量转为 -10 ~ 10V 输出；CH3：将 D2 中数字量转为 7 ~ 20mA 输出；CH4：将 D3 中数字量转为 0 ~ 20mA 输出。因 CH3 为非标准设定输出，将偏移调整为 7 000，增益 20 000，见图 7-152。

3. FX_{3U}—4DA

FX_{3U}—4DA 是 FX_{3U} 系列 PLC 中新增 D-A 模块，4 通道输出类型可不同。通过扩展电缆与基本单元或扩展单元连接。其技术性能见表 7-77，输出特性见图 7-153。

（1）缓冲存储器 BFM 参数　该参数见表 7-78，输出类型见表 7-79。

表 7-77　FX_{3U}—4DA 模拟量输出模块的技术性能

项目	参数		备注
	电压输出	电流输出	
输出点数	4 通道		
输出范围	DC -10 ~ 10V	0 ~ 20mA	参数选择输出类型
负载电阻	1kΩ ~ 1MΩ	≤500Ω	
数字输入	16 位带符号	15 位无符号	
分辨率	0.32mV	0.63μA	
转换精度	±0.5% FS		
处理时间	1ms(与通道数量无关)		
调整	偏移/增益调节		参数调节
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
I/O 点数	8		
电源	24V/160mA(外供),5V/120mA		需 PLC 供 5V

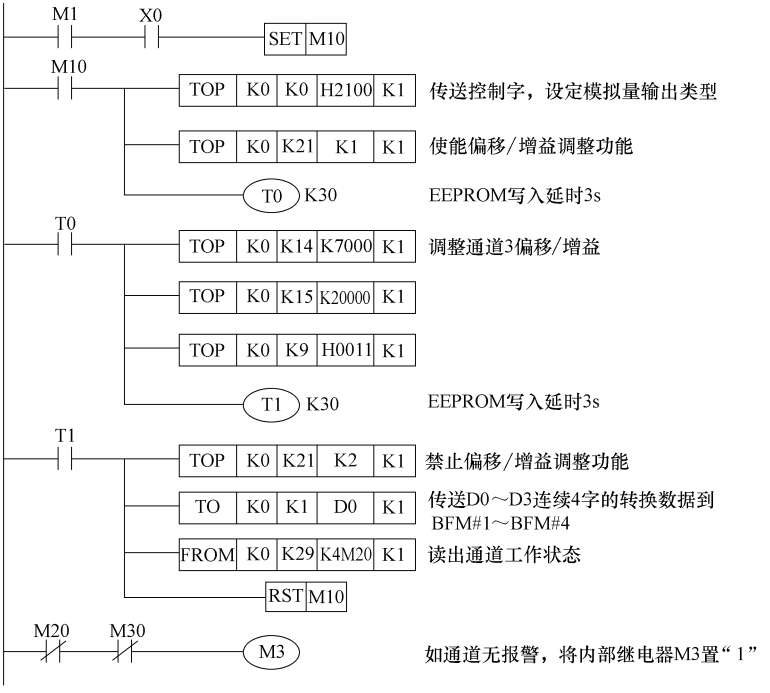


图 7-152　FX_{2N}—4DA 编程示例

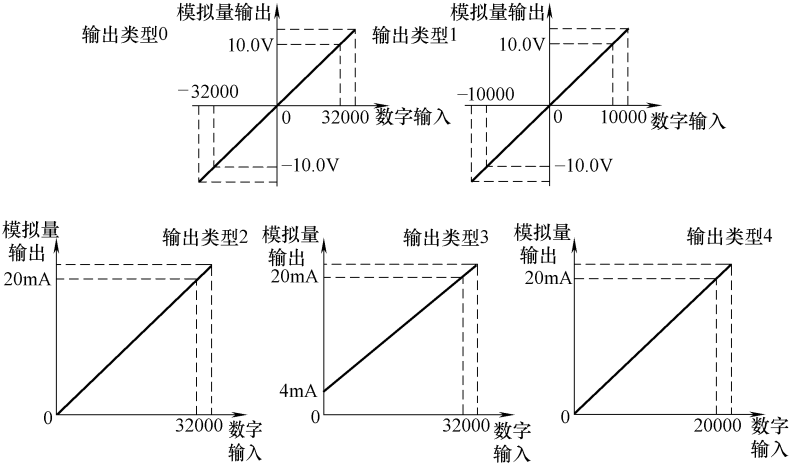


图 7-153　FX_{3U}—4DA 的输出特性

表 7-78 FX_{3U}—4DA 的缓冲存储器 BFM 参数

BFM	名称	功 能	参数类型	参数范围
#0	输出类型	选 CH1 ~ CH4 输出类型设 0 ~ 4,不用通道设“F”	控制命令	0 000H ~ FFFFH
#1 ~ #4	CH1 ~ CH4 的 D-A 输入	输入 D-A 的数字量	控制参数	—
#5	D-A 输出保持	0,PLC 为 STOP 时保持 D-A 输出;1,PLC 为 STOP 时清除 D-A 输出;2,输出#32 ~ #35 设定值	控制命令	0 000H ~ 2 222H
#6	CH1 ~ CH4 的 D-A 状态输出	4 位 16 进制输出,由低到高 CH1 ~ CH4。0,停止输出刷新(PLC 为 STOP 或偏移/增益调整中);1,输出刷新中	状态输出	0 000H ~ 1 111H
#7/#8	保留	不能改变	—	—
#9	CH1 ~ CH4 偏移/增益调整	4 位 16 进制输出,由低到高 CH1 ~ CH4;设“1”时写入,写入完成后自动变“0”	控制命令	0 000H ~ 1 111H
#10 ~ #13	CH1 ~ CH4 偏移	CH1 ~ CH4 的偏移值	控制参数	与输出类型有关
#14 ~ #17	CH1 ~ CH4 增益	CH1 ~ CH4 的增益值		
#18	保留	不能改变	—	—
#19	输入特性修改的禁止/使能	3 030:允许修改模块输出特性参数 BFM#0/#9,BFM#10 ~ #17,BFM#32 ~ #35,BFM#41 ~ #48,BFM#51 ~ #54,BFM#61 ~ #63 其他:禁止修改	控制参数	3 030
#20	模块初始化	1:全部参数恢复为出厂设定,初始化完成后自动恢复“0”	控制命令	0/1

（续）

BFM	名称	功　能	参数类型	参数范围
#21～#27	保留	不能改变	—	—
#28	断线检测	二进制位输出，bit0～bit3 依次 CH1～CH4，对应位“1”表明电流输出断线	出错信息	0 000H～000FH
#29	出错信息	模块错误报警输出	出错信息	
#30	模块 ID 代码	3 030	状态输出	3 030
#31	保留	不能改变	—	—
#32～#35	PLC 为 STOP 时的输出设定	设定 PLC 为 STOP 时 CH1～CH4 的 D-A 输出（BFM#5 对应位设定为 2 时有效）	控制参数	与输出类型有关
#36/#37	保留	不能改变	—	—
#38	上/下限监控功能设定	4 位 16 进制输出，由低到高依 CH1～CH4。0，功能无效；1，功能有效，输出可超过极限值；2，功能有效，输出限制在极限值	控制参数	0 000H～2 222H
#39	上/下限监控状态输出	二进制位输出，bit0/bit2/bit4/bit6 依次 CH1～CH4；低于下限时对应位“1”；bit1/bit3/bit5/bit7 依次为 CH1～CH4；高于上限时对应位“1”	状态输出	0 000H～00FFH
#40	上/下限监控状态清除	二进制位输入，bit0 为“1”复位下限监控报警，bit1 为“1”复位上限监控报警	控制命令	0 000H～0 003H
#41～#44	下限设定	设 D-A 输入下限	控制参数	与输出类型有关
#45～#48	上限设定	设 D-A 输入上限		
#49	保留	不能改变	—	—
#50	负载电阻调整功能设定	4 位 16 进制设定，由低到高 CH2～CH4。0，功能无效；1，功能有效，输出电压根据负载电阻调整	控制命令	0 000H～1 111H

（续）

BFM	名称	功　能	参数类型	参数范围
#51 ~ #54	负载电阻值	电压输出 CH1 ~ CH4 的负载电阻值	控制参数	1 000 ~ 30 000Ω
#55 ~ #59	保留	不能改变	—	—
#60	报警自动传送功能设定	二进制位形式。bit0 = 1：传送 BFM#29 出错信息；bit1 = 1：传送 BFM#39 上/下极限监控信息；bit2 = 1：传送 BFM#28 断线报警信息	控制命令	0 000H ~ 0 007H
#61	BFM#29 自动传送目标	BFM#29 传送目标（PLC 数据寄存器号）	结果输出	0 ~ 7 999
#62	BFM#39 自动传送目标	BFM#39 传送目标（PLC 数据寄存器号）		
#63	BFM#28 自动传送目标	BFM#28 传送目标（PLC 数据寄存器号）		
#64 ~ #79	保留	不能改变	—	—
#80	表格输入功能选择	4 位 16 进制输出，依次 CH1 ~ CH4；对应位为“1”D-A 数据以表格形式输入	控制命令	0 000H ~ 1 111H
#81 ~ #84	CH1 ~ CH4 的表格输入选择	选 D-A 数据表的编号	控制参数	1 ~ 10
#85 ~ #88	CH1 ~ CH4 的表格输入次数	选表格输入的次数	控制命令	0 ~ 32 767
#89	表格型 D-A 结束标记	4 位 16 进制输出，由低到高 CH1 ~ CH4；对应位为“1”表格型转换已结束	状态输出	0 000H ~ 1 111H
#90	表格输入出错代码	输出表格输入的出错代码	出错信息	0 000 ~ 9 999
#91	表格输入出错位置	表格数据出错的 BFM 号或出错位置		
#92 ~ #97	不能使用	不能改变	—	—
#98	表格的起始地址	指定输入数据表的起始地址	控制参数	0 ~ 7 999
#99	表格传送命令	4 位 16 进制形式输出，由低到高 CH1 ~ CH4；对应位为“1”表格数据输入到模块	控制命令	0 000H ~ 1 111H

（续）

BFM	名称	功　能	参数类型	参数范围
#100 ~ #398	D-A 数据表 1	按要求编写的 D-A 数据表 1	控制参数	
#399	保留	不能改变	—	—
#400 ~ #698	D-A 数据表 2	按要求编写的 D-A 数据表 2	控制参数	
#699	保留	不能改变	—	—
#700 ~ #998	D-A 数据表 3	按要求编写的 D-A 数据表 3	控制参数	
#999	保留	不能改变	—	—
#1 000 ~ #1 298	D-A 数据表 4	按要求编写的 D-A 数据表 4	控制参数	
#1 299	保留	不能改变	—	—
#1 300 ~ #1 598	D-A 转换数据表 5	按要求编写的 D-A 数据表 5	控制参数	
#1 599	保留	不能改变	—	—
#1 600 ~ #1 898	D-A 转换数据表 6	按要求编写的 D-A 数据表 6	控制参数	
#1 899	保留	不能改变	—	—
#1 900 ~ #2 198	D-A 转换数据表 7	按要求编写的 D-A 数据表 7	控制参数	
#2 199	保留	不能改变	—	—
#2 200 ~ #2 498	D-A 转换数据表 8	按要求编写的 D-A 数据表 8	控制参数	
#2 499	保留	不能改变	—	—
#2 500 ~ #2 798	D-A 转换数据表 9	按要求编写的 D-A 数据表 9	控制参数	
#2 799	保留	不能改变	—	—
#2 800 ~ #3 098	D-A 转换数据表 10	按要求编写的 D-A 数据表 10	控制参数	

表 7-79　FX_{3U}—4DA 模拟量输出类型

#0 设定	0	1	2	3	4
输出类型	电压		电流		
输出范围	-10 ~ 10V		0 ~ 20mA	4 ~ 20mA	0 ~ 20mA
分辨率	0.32mV	1mV	0.63μA	0.5μA	1μA
D-A 值输入	-32 000 ~ 32 000	-10 000 ~ 10 000	0 ~ 32 000	0 ~ 32 000	0 ~ 20 000
#10 ~ #13 偏移设定	-10 000 ~ 9 000			0 ~ 17 000μA	
初始偏移设定值	0	0（不能改变）	0	4 000	0（不能改变）

（续）

#0 设定	0	1	2	3	4
#14 ~ #17 增益设定	－9 000 ~ 10 000			3 000 ~ 30 000μA	
增益设定对应的 D-A 输入	16 000	5 000（不能改变）	16 000	16 000	10 000（不能改变）
初始增益设定值	5 000 mV		10 000μA	12 000μA	10 000μA
PLC 为 STOP 时的输出设定（#32 ~ #35）	－32 640 ~ 32 640	－10 200 ~ 10 200	0 ~ 32 640	0 ~ 32 640	0 ~ 20 400
A-D 上/下限设定（#41 ~ #44/#45 ~ #48）	－32 640 ~ 32 640	－10 200 ~ 10 200	0 ~ 32 640	0 ~ 32 640	0 ~ 20 400
下限初始值#41 ~ #44	－32 640	－10 200	0	0	0
上限初始值#45 ~ #48	32 640	10 200	32 640	32 640	20 400

（2）增益/偏移调整　BFM#10 ~ #17 中设定偏移/增益值，TO 写入；BFM#9 中选择增益与偏移调整通道，TO 写入；BFM#9 对应位设“1”时，BFM#10 ~ #17 中偏移/增益写到对应通道，设“0”通道偏移/增益保持不变；偏移/增益调整完成，设定 BFM#19 = 0 000H，TO 写入，禁止增益/偏移调整功能。

（3）编程与控制　用 FROM/TO 编程，也可用 FX_{3U} 系列新增功能，将 BFM 视为 PLC 内部元件，当普通数据寄存器 D 使用。BFM 在程序中地址格式为“U□/G□□□”。U□，模块安装地址，与 FROM/TO 相同，依次向右 U0 ~ U7；G□□□，BFM 参数号，与 BFM 号一一对应，见图 7-154。

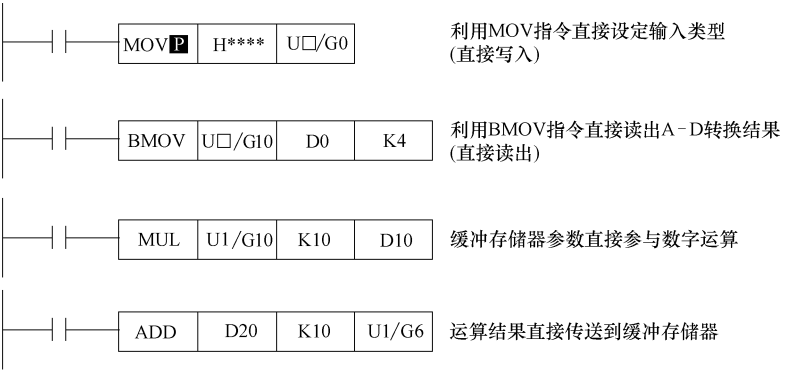


图 7-154　缓冲存储器的直接编程

如某控制程序示例见图 7-155，具体要求如下：

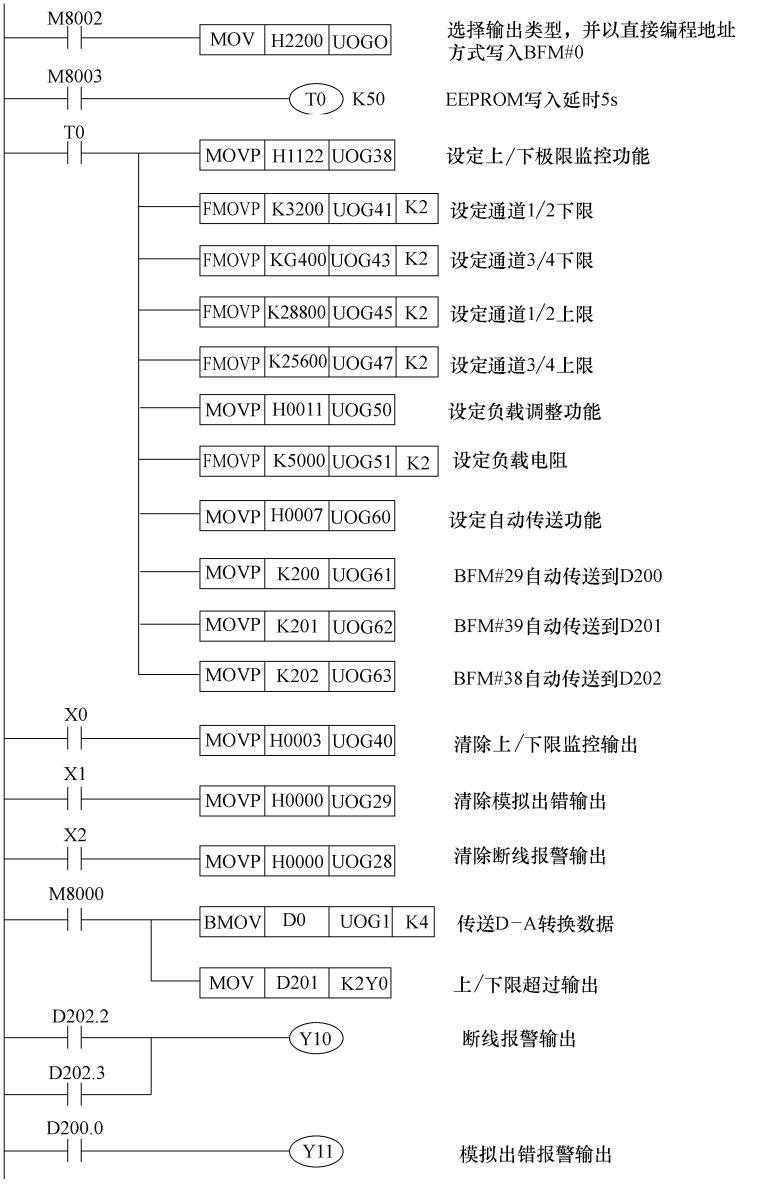


图 7-155　FX_{3U}—4DA 编程示例

① CH1/2，将 D10/D11 中数字转换 -10 ~ 10V 输出，上/下限监控与负载调整有效，输出下限 -1V、上限 9V，超上/下限时 D-A 限制在极限值，负载电阻 5kΩ。

CH3/4，将 D12/D13 中数字转 0 ~ 20mA 输出，上/下限监控与断线检测有效，输出下限 4mA、上限 16mA，超上/下限时输出仍有效。

② D-A 上/下限报警信息自动送 D201，在 Y0 ~ Y7 输出，报警由 X0 清除。

③ 模块出错状态自动送 D200，出错时 Y11 = 1，报警由 X1 清除。

④ 电流输出通道断线出错报警自动送 D202，断线时 Y10 = 1，报警由 X2 清除。

七、温度测控模块

FX 系列 PLC 的温度测控模块由热电偶或铂电阻温度传感器读取温度信号，然后将测量值与温度设定值进行比较，通过 PID 自动调谐运算与处理，输出开关型温度控制信号。其结构和工作原理见图 7-156 ~ 图 7-158。一般情况下，温度传感器从 CH1 ~ CH4 输入，存储到缓冲存储器 BFM，A-D 输出与模块 CPU 数据总线相隔离。

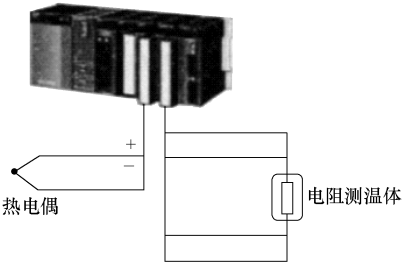


图 7-156　温度测控模块的结构

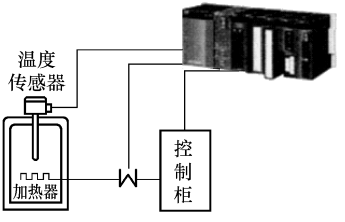


图 7-157　温度测控制原理

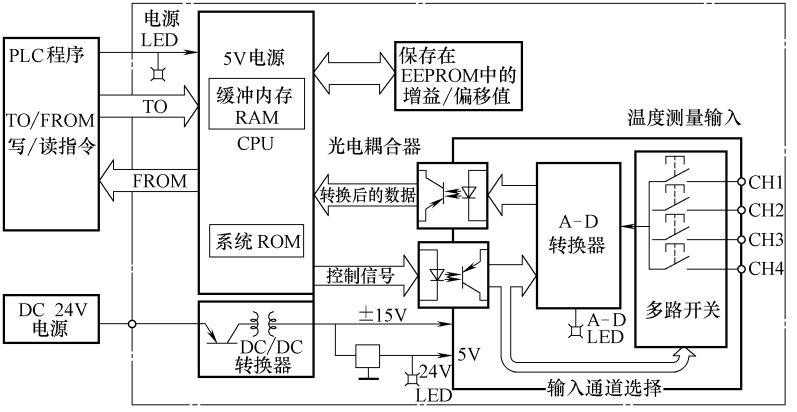


图 7-158　温度测控模块原理框图

温度测控模块为独立安装 PLC 扩展选件，可用于 FX_{2N}/FX_{3U} 系列，自带存储器，测温输入 A-D 模块完成。特殊模块实现温度输入 A-D，并处理如平均值计算、偏移/增益调整、转换数据上/下限监控等。模块转换出错报警、极限超、转换结果历史记录等状态信息由读指令监控模块。

FX 系列 PLC 的温度测控模块见表 7-80。

表 7-80　FX 系列 PLC 的温度测控模块

类别	型号与名称	功能	最大安装数量			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
温度测控模块	FX_{2N}—4AD-PT，4 通道 Pt100 型铂电阻输入	－100 ~ 600℃/－148 ~ 1 112 ℉ 输入，－1 000 ~ 6 000/－1 480 ~ 11 120 数字输出，速度 15ms/4CH	×	8		
	FX_{2N}—4AD-TC，4 通道 K/J 型热电偶输入	－100 ~ 1 200℃/－148 ~ 2 192 ℉ 输入，－1 000 ~ 12 000/-1 480 ~ 21 920 数字量输出，速度 240ms/CH	×	8		
	FX_{2N}—8AD，8 通道 K/J/T 型热电偶输入	－100 ~ 1 200℃/－148 ~ 2 192 ℉ 输入，－1 000 ~ 12 000/－1 480 ~ 21 920 数字量输出，速度 0.5ms/CH	×	8		

（续）

类别	型号与名称	功能	最大安装数量			
			FX_{1S}	FX_{1N}	FX_{2N}	FX_{3U}
温度测控模块	FX_{2N}—2LC，2 通道铂电阻/热电偶输入温度调节	－300 ～ 1 700℃/－300 ～ 3 200 ℉输入；PID/PI 调节，2 点 DC 24V/100mA 集电极开路晶体管输出；采样/运算周期 500ms	×	8		
	FX_{3U}—4AD—PT—ADP，外置式 4 通道 Pt100 型铂电阻输入扩展板	－50 ～ 25℃/－58 ～ 482 ℉输入，－500 ～ 2 500/－580 ～ 4 820 数字量输出，转换速度 0.2ms	×			4
	FX_{3U}—4AD—TC—ADP，外置式，4 通道 K/J 热电偶输入扩展板	－100 ～ 1 000℃/－148 ～ 1 832 ℉输入，－1 000 ～ 10 000/－1 480 ～ 18 320 数字量输出，转换速度 0.2ms	×			4

1. 连接方式

FX 系列 PLC 温度测控模块的连接方式有三线式热电阻 Pt100 型、J Pt100 型等，两线式热电偶 K/J/T/R/S 型等，而且对外部温度传感器输入连接相同。外供 DC24V，通道输入接“L1 +” ～ “L4 +”、“L1 －” ～ “L4 －”、“I1 －” ～ “I4 －”。

三线式热电阻连接见图 7-159。“L +” 端经偏置电阻 4.7kΩ 接内部“5V”端；“L －” 端经偏置电阻 4.7kΩ 接内部“5V”端，已通过铂电阻“0V”端接模块输入地 AG，输入为 0V。

两线式热电偶的接线见图 7-160，传感器一端接模块“L +”，另一端接“L －”。在模块内部，“L +” 端通过电阻 3kΩ 接放大器输入端。传感器输入电源由“L －” 连接温度补偿电路提供。

2. 常用模块

（1）FX_{3U}—4AD—PT—ADP　外置式温度测量输入功能扩展板，将 Pt100 型传感器输入直接转换为输出 －500 ～ 2 500，对应温度范围 －50 ～ 250℃；或数字 －580 ～ 4 820，对应华氏温度范围 －58 ～ 482 ℉。其技术性能见表 7-81，安装方式同 FX_{3U}—4AD—PT—ADP，输出特性见图 7-161。

1）编程与控制　安装 4 个扩展板，由 M82□0 与 D82□0 ～ D82□9 实现，“□” 为扩展板号。CH1 ～ CH4 的 A-D 结果存 D82□0 ～ D82□3，出错信息存 D82□8，D82□8 以二进制位编程。扩展板硬件与通信出错状态 D82

□8.6/D82□8.7 由 RST 清除。测温扩展板除测量输入电路有区别外，其余与模拟量输入模块相同，编程与 FX_{3U}—4AD—ADP 相同。FX_{3U}—4AD—PT—ADP 辅助继电器与数据寄存器的功能见表 7-82。

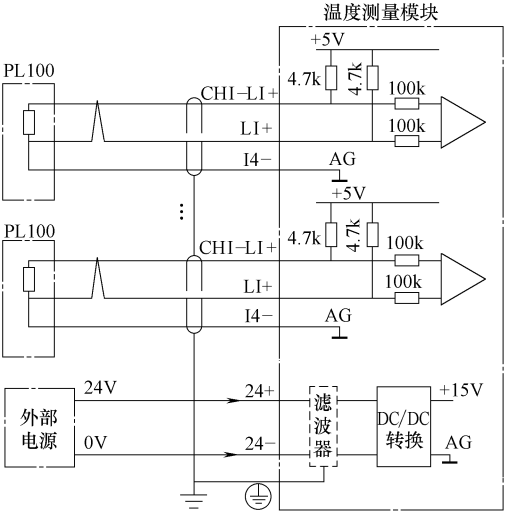


图 7-159　三线式热电阻的连接

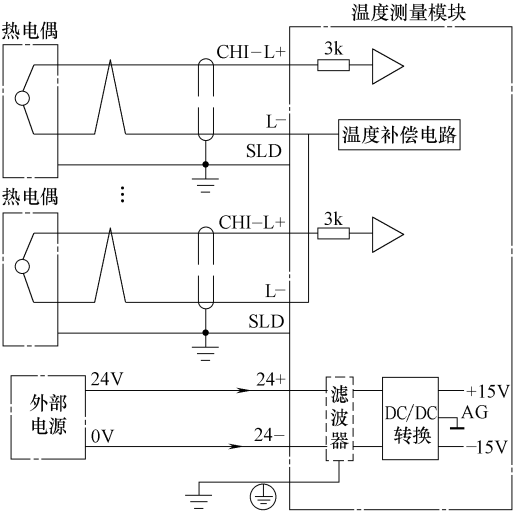


图 7-160　两线式热电偶的连接

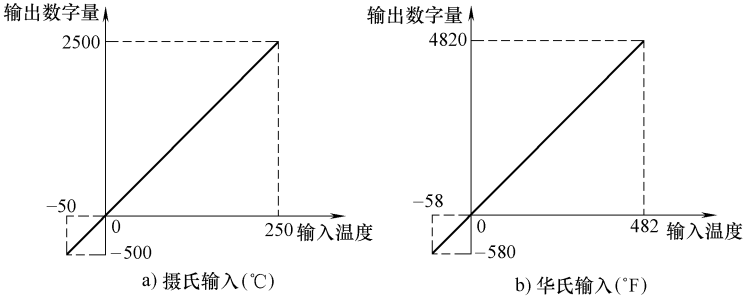


图 7-161　FX_{3U}—4AD—PT—ADP 的输出特性

表 7-81　FX_{3U}—4AD—PT—ADP 的技术性能

项目	参数		备注
	摄氏	华氏	
输入点数	每一扩展板 4 通道,最多 4 块		
输入	-50 ~ 250℃	-58 ~ 482 ℉	
输入极限	-55 ~ 255℃	-67 ~ 491 ℉	
数字输出	-500 ~ 2 550	-580 ~ 4 820	
测量精度	0.1℃	0.18 ℉	
转换精度	±1% FS		
处理时间	200μs/4CH		执行 END 时处理
调整	不能偏移/增益调节		—
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
I/O 点数	0		—
电源	DC 24V/50mA,5V/15mA		外供 DC 24V

表 7-82　FX_{3U}—4AD—PT—ADP 辅助继电器与数据寄存器的功能

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
测温输入类型	M 8 260	M 8 270	M 8 280	M 8 290	0,摄氏输入;1,华氏输入
(A-D)1	D 8 260	D 8 270	D 8 280	D 8 290	采样次数设定位“1”时,A-D 瞬时采样值;采样次数不为“1”时,A-D 采样平均值
(A-D)2	D 8 261	D 8 271	D 8 281	D 8 291	
(A-D)3	D 8 262	D 8 272	D 8 282	D 8 292	
(A-D)4	D 8 263	D 8 273	D 8 283	D 8 293	

（续）

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
CH1 采样次数	D 8 264	D 8 274	D 8 284	D 8 294	设计算采样平均值时的采样次数:1 ~ 4 095
CH2 采样次数	D 8 265	D 8 275	D 8 285	D 8 295	
CH3 采样次数	D 8 266	D 8 276	D 8 286	D 8 296	
CH4 采样次数	D 8 267	D 8 277	D 8 287	D 8 297	
出错状态输出(直接以二进制位形式,如 D 8 268 bit6 的二进制位元件地址为 D 8 268 .6)	D 8 268	D 8 278	D 8 288	D 8 298	bit0 ~ bit3, CH1 ~ CH4 的 A-D 超范围出错 bit4,EEPROM 出错 bit5,采样次数设定错误 bit6,扩展板硬件出错 bit7,数据传送出错 bit8 ~ bit15,未使用
扩展板 ID 代码	D 8 269	D 8 279	D 8 289	D 8 299	固定为 20

2）程序示例：某测温系统模块 ID 正确时 M0 = 1；CH1 为瞬时摄氏测温，结果存 D100；CH2 为平均摄氏测温，采样 5 次，采样平均值存 D101，见图 7-162。

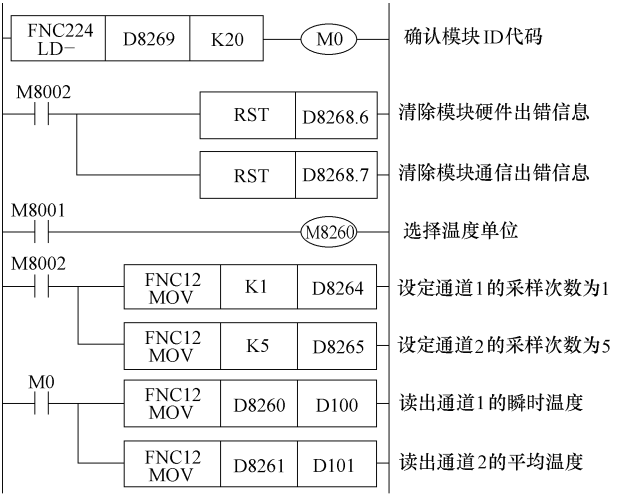


图 7-162　FX_{3U}—4AD—PT—ADP 编程示例

（2）FX_{3U}—4AD—TC—ADP　外置式温度测量输入功能扩展板，4 通道热电偶测温输入，将 K、J 型热电偶测温 －100 ～ 1 000℃ 直接转换为 －1 000 ～ 10 000；或将测温 －148 ～ 1 832℉ 输入直接转 －1 480 ～ 18 320。其技术性能见表 7-83。

表 7-83　FX_{3U}—4AD—TC—ADP 技术性能

项目	参数		备注
	摄氏	华氏	
输入点数	每一扩展板 4 通道，最多安装 4 块		
输入	K 型：－100 ～ 1 000℃ J 型：－100 ～ 600℃	K 型：－148 ～ 1 832℉ J 型：－148 ～ 1 112℉	
输入极限	K 型：－110 ～ 1 010℃ J 型：－110 ～ 610℃	K 型：－166 ～ 1 850℉ J 型：－166 ～ 1 130℉	
数字输出	K 型：－1 000 ～ 10 000 J 型：－1 000 ～ 6 000	K 型：－1 480 ～ 18 320 J 型：－1 480 ～ 11 120	
测量精度	K 型：0.4℃；J 型：0.3℃	K 型：0.27 ℉；J 型：0.54 ℉	
转换精度	±（0.5% ＋1）		
处理时间	200μs/4CH		执行 END 指令时处理
调整	不能偏移/增益调节		—
输出隔离	光耦合		模拟电路与数字电路间
I/O 点数	0		—
电源	DC 24V/45mA，5V/15mA		DC 24V 外供

1）连接要求：由 FX_{3U}—□□□—BD 与基本单元连接，内部总线传送数据，见图 7-163。输入 J 型热电偶时，2 个 J-type 端短接；K 型热电偶时开路。

2）输出特性：见图 7-164。

3）编程：安装 4 个扩展板，由 M82□0 ～ M82□1 与 D82□0 ～ D82□9 实现，“□”为扩展板号。CH1 ～ CH4 的 A-D 结果存 D82□0 ～ D82□3，出错信息存 D82□8，D82□8 以二进制位编程。扩展板硬件与通信出错状态 D82□8.6/D82□8.7 由 RST 清除。FX_{3U}—4AD—TC—ADP 与 FX_{3U}—4AD—PT—ADP 仅输入温度传感器类型不同。其特殊辅助继电器与数据寄存器的功能见表 7-84。

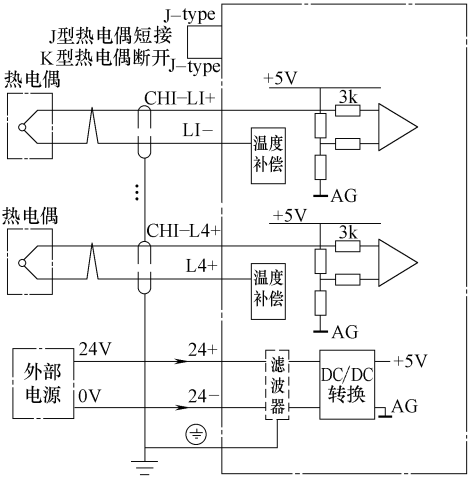
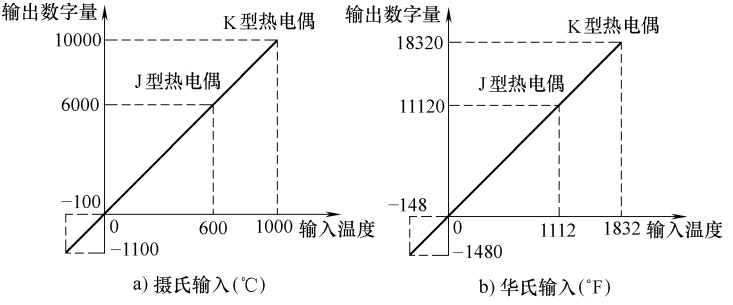


图 7-163　FX_{3U}—4AD—TC—ADP 的连接



a) 摄氏输入(℃)　　b) 华氏输入(°F)

图 7-164　FX_{3U}—4AD—TC—ADP 的输出特性

表 7-84　FX_{3U}—4AD—5TC—ADP 特殊辅助继电器与数据寄存器的功能

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
测温输入类型	M 8 260	M 8 270	M 8 280	M 8 290	0,摄氏输入; 1:华氏输入
测温传感器选择	M 8 261	M 8 271	M 8 281	M 8 291	0:K 型;1:J 型
(A-D)1	D 8 260	D 8 270	D 8 280	D 8 290	采样次数设“1”时, A-D 为瞬时采样值; 当采样次数不为“1” 时,为采样平均值
(A-D)2	D 8 261	D 8 271	D 8 281	D 8 291	
(A-D)3	D 8 262	D 8 272	D 8 282	D 8 292	
(A-D)4	D 8 263	D 8 273	D 8 283	D 8 293	

（续）

功能	特殊辅助继电器 M 与特殊数据寄存器 D				备注
	第 1 扩展板	第 2 扩展板	第 3 扩展板	第 4 扩展板	
CH1 采样次数	D 8 264	D 8 274	D 8 284	D 8 294	采样次数设定范围 1 ~ 4 095
CH2 采样次数	D 8 265	D 8 275	D 8 285	D 8 295	
CH3 采样次数	D 8 266	D 8 276	D 8 286	D 8 296	
CH4 采样次数	D 8 267	D 8 277	D 8 287	D 8 297	
出错状态输出(以二进制位形式，如 D 8 268 bit6 二进制地址为 D 8 268. 6)	D 8 268	D 8 278	D 8 288	D 8 298	bit0 ~ bit3，CH1 ~ CH4 的 A-D 值超范围出错 bit4，EEPROM 出错 bit5，采样次数设定错误 bit6，扩展板硬件出错 bit7，数据传送(通信)错 bit8 ~ bit15，未使用
扩展板 ID 代码	D 8 269	D 8 279	D 8 289	D 8 299	固定为 10

八、温度测量特殊模块

1. FX_{2N}—4AD—PT

（1）性能指标　FX_{2N}—4AD—PT 的技术性能见表 7-85，FX_{2N} 最多可带 8 台，输出特性见图 7-165。

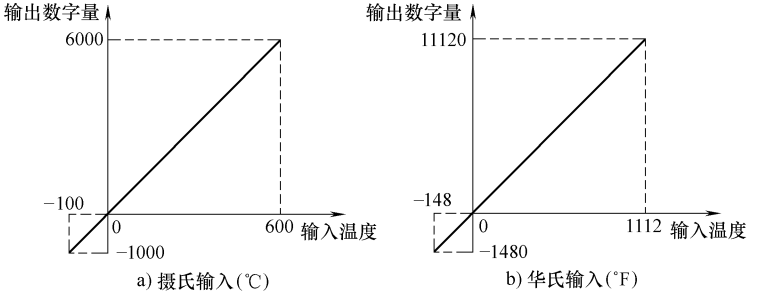


图 7-165　FX_{2N}—4AD—PT 的输出特性

表 7-85　FX_{2N}—4AD—PT 的技术性能

项目	摄氏	华氏
	根据读出指定地址号，确定摄氏或华氏	
输入信号	铂热电阻 3 线制 4 点(CH1、CH2、CH3、CH4)	
驱动电流	1 mA(恒流方式)	

（续）

项目	摄氏	华氏
	根据读出指定地址号,确定摄氏或华氏	
额定温度范围	－100 ～ ＋600℃	－148 ～ ＋1 112℉
数字输出	－1 000 ～ ＋6 000	－1 480 ～ ＋11 120
	带符号位 16 位,二进制	
综合精度	±1%（相对于最大值）	
隔离方式		
I/O 点数	8 点	
电源	由 PLC 提供,5V/30 mA	

（2）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-86。

（3）模块报警信息　工作状态与报警由 BFM#28、BFM#29 检查。BFM#28 bit0/2/4/6 由低到高 CH1 ～ CH4，温度低于测量下限报警；BFM#28 bitl/3/5/7 由低到高 CH1 ～ CH4 温度高于测量上限报警。BFM#28 保存错误信息，清除出错信息需模块断电或写入 00H 或 K0。

表 7-86　FX_{2N}—4AD—PT 的缓冲存储器 BFM 分配

<table>
<tr><th>BFM</th><th colspan="14">内容</th></tr>
<tr><td>1 ～4#</td><td colspan="2" rowspan="5">CH1 ～4</td><td colspan="12">各通道平均值取样次数 1 ～4 096,如设定超范围,按缺省值 8 次处理</td></tr>
<tr><td>5 ～8#</td><td colspan="12">采样输入的当前值,精度 0.1℃</td></tr>
<tr><td>9 ～12#</td><td colspan="12">采样输入的平均值,精度 0.1℃</td></tr>
<tr><td>13 ～16#</td><td colspan="12">采样输入的当前值,精度 0.1°F</td></tr>
<tr><td>17 ～20#</td><td colspan="12">采样输入的当前值,精度 0.1°F</td></tr>
<tr><td>21 ～27#</td><td colspan="14">没有用</td></tr>
<tr><td rowspan="3">28#</td><td rowspan="3">锁存各通道的错误信息,用于检测热电偶的连接状态</td><td>b15 ～b8</td><td>b7</td><td>b6</td><td>b5</td><td>b4</td><td>b3</td><td>b2</td><td>b1</td><td>b0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">没有用</td><td>高位</td><td>低位</td><td>高位</td><td>低位</td><td>高位</td><td>低位</td><td>高位</td><td>低位</td></tr>
<tr><td colspan="2">CH4</td><td colspan="2">CH3</td><td colspan="2">CH2</td><td colspan="2">CH1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">29#</td><td colspan="13">错误状态信息(见模块报警信息)</td></tr>
<tr><td>b15</td><td>b14</td><td>b13</td><td>b12</td><td>b11</td><td>b10</td><td>b9</td><td>b8</td><td>b7</td><td>b6</td><td>b5</td><td>b4</td><td>b3</td><td>b2</td><td>b1</td><td>b0</td></tr>
<tr><td colspan="13">模块识别码 K 2 040,FROM 读出</td></tr>
<tr><td>30#</td><td colspan="13">模块识别码 K 2 040,FROM 读出</td></tr>
<tr><td>31#</td><td colspan="13">没有用</td></tr>
</table>

（4）程序示例　某测温系统，模块 ID 正确时 M1 = 1，读 CH1 ～ CH4 平均温度值，精度 0.1℃，平均值采样次数 4 次，CH1 ～ CH4 的 A-D 结果存 D0 ～ D3。模块报警故障时 M3 = 1，见图 7-166。

2. FX_{2N}—4AD—TC

（1）性能指标　FX_{2N}—4AD—TC 的技术性能见表 7-87。与 K 或 J 型热电偶匹配输入，4 通道。FX2N 系列带该模块不超过 8 台。

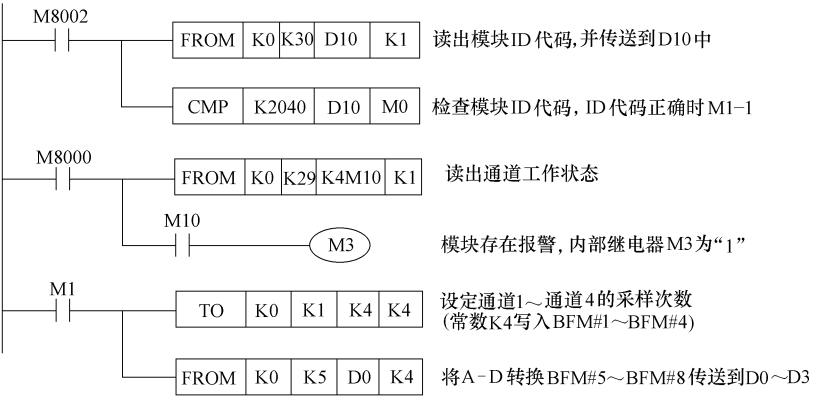


图 7-166　FX_{2N}—4AD—PT 编程示例

表 7-87　FX_{2N}—4AD—TC 的技术性能

项目	摄氏		华氏	
	根据读出指定地址号(缓冲存储器地址号)确定为摄氏或华氏			
温度测量范围	K 型	－100 ～ ＋1 200℃	K 型	－148 ～ ＋2 192℉
	J 型	－100 ～ ＋600℃	J 型	－148 ～ ＋1 112℉
	带符号位 16 位,二进制			
	K 型	－1 000 ～ ＋12 000	K 型	－1 480 ～ ＋21 920
	J 型	－1 000 ～ ＋6 000	J 型	－148 ～ ＋11 120
分辨率	K 型	0.4℃	K 型	0.72 ℉
	J 型	0.3℃	J 型	0.54 ℉
综合精度	±(0.5% FS ＋1℃)			
转换速度				
隔离方式	光隔离及 DC/DC 转换输入和电源隔离			
模拟量电源	DC 24V,60mA			
I/O 点数	8			
电源	由 PLC 提供,5V/30 mA			

（2）接线方式　如图 7-167 所示，热电偶连接的补偿导线与热电偶分度号一致。如干扰大，在输入模块 SLD 与接地端子相连；该测温输入模块应与基本单元接地端连接。

（3）输出特性　如图 7-168 所示，4 通道输出特性相同。

（4）缓冲存储器 BFM 分配　见表 7-88。BFM#28 的 bit0/bit2/bit4/bit6 依次 CH1 ~ CH4 温度低于测量下限报警；BFM#28 bit1bit/bit3/bit5/bit7 依次 CHl ~ CH4 温度高于测量上限报警。测量超范围 BFM#28 即保存错误信息，清除信息需模块断电或程序写 00H 或 K0。

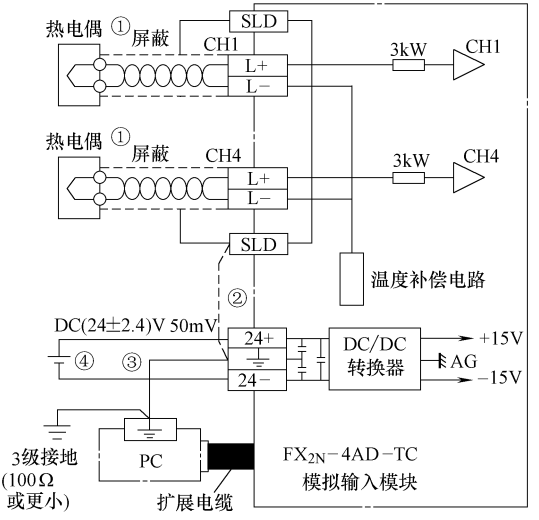


图 7-167　测温模块的接线

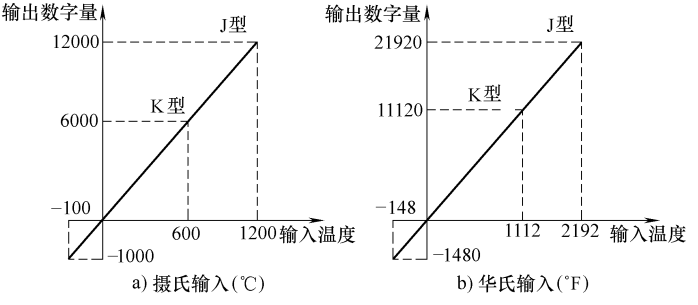


图 7-168　FX_{2N}—4AD—TC 的输出特性

表 7-88　FX_{2N}—4AD—TC 的缓冲存储器 BFM 分配

BFM	内容								
0#	K 型或 J 型热电偶选择,缺省值 H0000								
1#～4#	各通道平均采样次数范围 1～256,缺省值 8;设定超范围按 8 次								
5#～8#	采样输入平均值,精度 0.1℃								
9#～12#									
13#～16#	采样输入平均值,精度 0.1℉								
17#～20#									
21#～27#	没有用								
28#	锁存各通道错误状态,检测热电偶。b15～b8 没有用	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
		高位	低位	高位	低位	高位	低位	高位	低位
		CH4		CH3		CH2		CH1	
29#	b15～b0 的错误信息								
30#	识别码 K2030								
31#	没有用								

（5）编程示例　某测温系统 CH1 接 K 型、CH2 接 J 型热电偶，CH3/4 不用；模块 ID 正确时 M1 = 1，读 CH1、CH2 平均温度值，单位 0. 1℃，采样 4 次平均，A-D 结果存 D0、D1。检查模块报警信息，故障时 M3 = 1，见图 7-169。

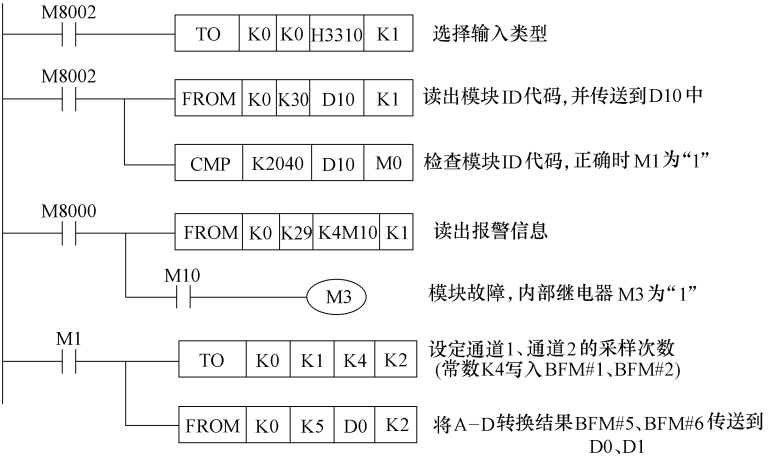


图 7-169　FX_{2N}—4AD—TC 编程示例

3. FX_{2N}—2LC

（1）性能指标　FX_{2N}—2LC 的技术性能见表 7-89，输入规格见表 7-90，开关量输出性能见表 7-91。

表 7-89　FX_{2N}—2LC 的技术性能

项目	规格
电源	DC 24V(－15%～＋10%)，从驱动电源端子输入
通信电源	DC 5V，基本单元供
消耗电源	DC 24V、55mA 和 DC5V、70mA
绝缘方式	模拟量输入和 PLC 光耦合绝缘；电源和模拟量输入 DC/DC 变压器绝缘
I/O 点数	8
控制方法	2 位位置控制、PID 控制（具有自调节）和 PI 控制
控制运行周期	500ms
适用的控制器	FX_{1N}/FX_{2N}/FX_{2N}C（需 FX_{2N}C-CNV-IF）

表 7-90　FX_{2N}—LC 的输入规格

项目			描述
输入点数			2 点
温度输入	输入类型	热电偶	K、J、R、S、B、E、N、T、PLⅡ、WRe5－26、U、L
		热电阻	Pt100、JPt100
	测量精度		环境温度为 23℃±5℃，幅度为±1，数字为±0.3%；环境温度为 0℃±55℃；幅度为±1，数字为±0.75%。B 输入中 0～399℃，在 PLⅡ、WRe－26 输入中 0～32℉是外部精度范围
	冷触点温度补偿误差		±1℃内；输入－150～100℃时，±2℃内；输入－200～150℃时，±3℃内
	分辨率		0.1℃(0.1℉)或 1℃(1℉)
	采样周期		500ms
	外电阻的效果		0.35mV/Ω
	输入阻抗		≥1MΩ
温度输入	传感器电流		0.35mA
	允许输入主线电阻		≤10Ω
	当输入断开时运转		偏向高刻度
	当输入短路时运转		偏向低刻度
CT 输入	输入数		2 点
	电流探测器		
	加热器电流测量值		
	测量精度		在输入值的±5%和 2A 之间的较大的 1 个（不包括电流探测器精度）
	采样周期		1s

表 7-91　FX_{2N}—2LC 的开关量输出性能

项目	参数	备注
输出点数	2 点	集电极开路晶体管输出
负载电压	DC 5 ~ 24V	最大 DC 30V
负载电流	≤100 mA	
OFF 时泄漏电流	≤0. 1mA	
ON 时最大压降	2. 5V	
控制输出周期	30s	1 ~ 100s 可调

（2）测控方式　选择测温、测温与监控、温度控制 3 种。测温时，对 2 通道多种类型温度传感器输入与 2 通道电流输入 A-D，与模拟量输入相同；测温与监控时，模块在温度传感器输入与电流 A-D 转换时，能监控加热器断线、加热器电流、温度输入范围、温度变化率、闭环温度偏差等，并输出报警信号。可选择闭环自动与手动模式。闭环自动模式时，由程序设定温度，测温反馈，PID 自动调节，PID 参数由程序或自动调谐方式设定；手动模式时，模块温度控制输出（脉宽调制型）直接由程序给定。自动调谐功能，可根据需要自动设定闭环 PID 参数。

（3）调节设定　闭环自动模式时，对加热器温度 PID 自动调整。CH1、CH2 输入测温反馈 A-D 转换；给定温度与测量比较，偏差经 PID 运算，PWM 型输出，控制 2 通道改变晶体管 ON/OFF 时间比，实现温度调节；PID 调节参数、输出公差、死区设定、变化率等写入 BFM。

（4）安装与接线　FX_{2N}—2LC 的安装位置见图 7-170；1 个热电偶测温时的接线方式见图 7-171；其中热电偶或热电阻外部接线方式，见图 7-172、图 7-173。

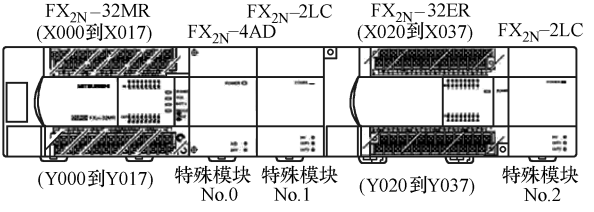


图 7-170　FX_{2N}—2LC 的安装位置与编号

（5）缓冲器 BFM 参数　见表 7-92。

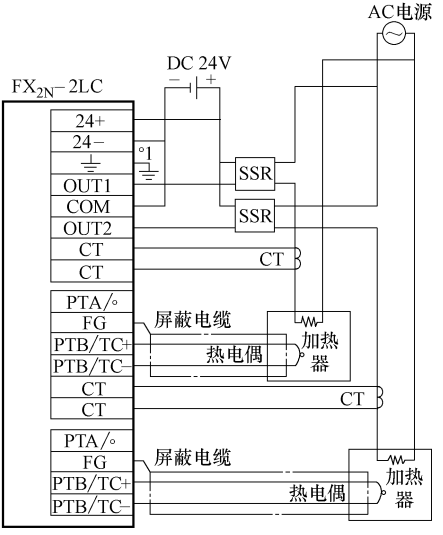


图 7-171　FX_{2N}—2LC 的接线方式

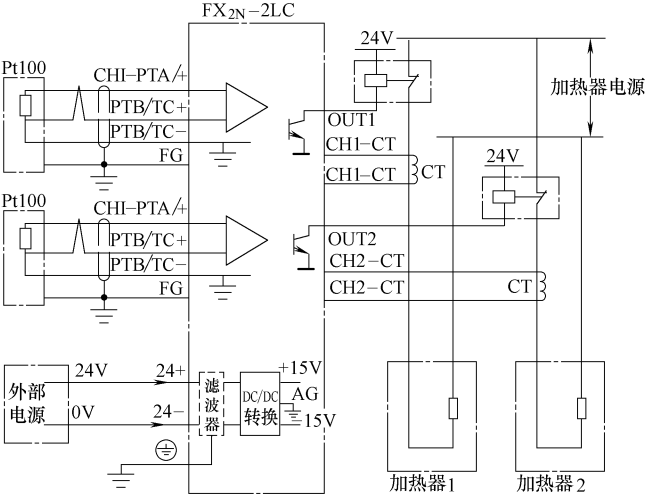


图 7-172　FX_{2N}—2LC 铂电阻外部接线方式

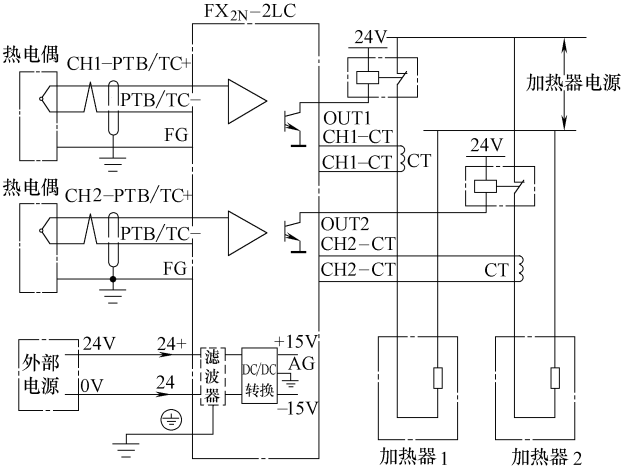


图 7-173　FX_{2N}—2LC 热电偶外部接线方式

表 7-92　FX_{2N}—2LC 的缓冲存储器 BFM 参数

BFM#		参数设定	初始值	备注
CH1	CH2			
#0		模块报警信息(正常时“0”)。bit0,模块报警;bit1,温度设定超范围;bit2,输入 DC24V 错误;bit3,模块硬件错误或接线错误;bit8,模块参数设定错误;bit9,温度补偿回路错误;bit10,A-D 错误;bit12,模块控制生效;bit13,EEPROM 写入中;bit14,初始化完成;bit15,模块准备好	0	状态输出
#1	#2	通道报警信息(正常时“0”)。bit0,输入超上限;bit1,输入超下限;bit2,温度补偿回路错误;bit3,A-D 错误;bit4 ~ bit7,温度报警检测 1 ~ 4;bit8,回路中断报警;bit9,加热器断线报警;bit10,加热器损坏;bit12,温度单位设定:0,1℃/1℉、1,0.1℃/0.1℉;bit13,手动调整有效;bit14,调节器参数自动设定,自动调谐中;bit15,温度达公差范围	0	状态输出 温度报警 1 ~ 4 的功能由#72 ~ #75 定义

（续）

BFM#		参数设定	初始值	备注
CH1	CH2			
#3	#4	温度测量输入的 A-D 输出	0	状态输出，单位为 0.1℃或0.1℉，与 BFM#70/#71 输入类型有关
#5	#6	PID 调节器输出（温度控制输出“ON”的脉宽比）	-5%	状态输出，单位为 0.1%，输出 -5.0% ~ 105.0%
#7	#8	加热器电流测量 A-D 输出	0	状态输出。单位为 0.1A
#9		初始化功能设定。0，初始化无效；1，#10 ~ #81 参数恢复出厂设定值；2，#10 ~ #69 参数恢复出厂值		控制参数。初始化需 500 ms
#10		报警复位命令，“1”复位 BFM#0 的报警输出		控制命令
#11		1，模块启动，A-D 转换/报警监控/闭环控制功能有效；0，模块停止，A-D 转换/报警监控/闭环控制等功能无效，模块开关量输出撤销		控制命令。PLC 从 RUN→STOP 时模块输出保持不变
#12	#21	温度设定值		控制参数，单位为 0.1℃或0.1℉，与#70/#71 输入类型有关
#13	#22	温度检测报警 1 的检测阈值	0	控制参数；单位为℃或℉。 检测阈值功能由参数#72 ~ #75 定义
#14	#23	温度检测报警 2 的检测阈值		
#15	#24	温度检测报警 3 的检测阈值		
#16	#25	温度检测报警 4 的检测阈值		
#17	#26	加热器断线报警设定。0，功能无效；0.1 ~ 100.0，功能有效，当电流检测值小于设定值时，#1/#2 bit9 输出通道报警		控制参数，单位为 0.1A
#18	#27	操作方式。0，自动，温度控制输出来自 PID 调节器；1，手动，温度控制输出由#19/#28 设定		控制参数
#19	#28	手动方式下温度控制输出，设定 PWM 脉宽（模块开关量输出“ON”的时间比），PWM 周期由参数#42/#62 设定		控制参数，单位为 0.1%，设定范围为 -5.0% ~ 105.0%
#20	#29	0，PID 参数自动调谐无效；1，PID 参数自动调谐生效		控制命令；功能生效时，自动设 PID 参数

（续）

BFM#		参数设定	初始值	备注
CH1	CH2			
#30		模块 ID 代码	2 060	状态输出,固定 2 060
#32	#51	模块工作方式选择。0,测温方式,输出温度测量输入、电流测量输入的 A-D 结果,输出保持“OFF”;1,测温与监控方式,输出温度测量输入、电流测量输入的 A/D 结果,温度监控功能有效,#1/#2 的 bit0/bit1、bit4 ~ bit7 输出温度报警,模块输出保持“OFF”;2,温度控制方式,模块全部功能有效	2	控制参数。在 #11 设“1”时有效
#33	#52	比例增益 P 设定,增益为设定值的倒数	3%	控制参数,单位为 0.1%,范围为 0% ~ 100.0%
#34	#53	积分时间 I 设定	240	控制参数,0 ~ 3 600s
#35	#54	微分时间 D 设定	60	
#36	#55	调节器响应特性选择。0,响应慢;1,响应中等;2,响应快	0	控制参数,不能直接设定响应时间值
#37	#56	温度控制输出上限设定	100.0%	控制参数,单位为 0.1%,范围为 -5.0% ~ 105.0%
#38	#57	温度控制输出下限设定	0	
#39	#58	温度控制输出变化率设定,设定 1s 内温度控制输出允许的最大变化量,设定“0”功能无效	0	控制参数,单位为 0.1%,范围为 0% ~ 100.0%
#40	#59	温度测量模拟量输入偏移设定	0	控制参数,单位为 1%,范围为 -50% ~ 50%
#41	#60	温度到公差范围内,不进行温度自动调节	1%	控制参数,单位为 0.1%,范围为 0% ~ 10.0%
#42	#61	温度控制输出的 PWM 周期	30	控制参数 1 ~ 100s
#43	#62	温度测量输入的滤波时间	0	控制参数 0 ~ 100s
#44	#63	温度给定输入加/减速时间设定,设定 1min 内的温度给定值变化量	0	控制参数,单位为 0.1%,范围为 0.1% ~ 100.0%
#45	#64	自动调谐生效时的温度设定,设定值为自动调谐时输出与温度给定值之间的偏差值;可减小自动调谐时的输出温度,防止自动调谐中的温度超调	0	控制参数,单位为℃或℉
#46	#65	加热/制冷方式选择。0,制冷方式,正动作; 1,加热方式,反动作	1	控制参数

（续）

BFM#		参数设定	初始值	备注
CH1	CH2			
#47	#66	温度给定值#12/#21 的上限设定	1300	控制参数，单位为℃或℉（与传感器类型有关），超范围时#0 bit1 输出报警
#48	#67	温度给定值#12/#21 的下限设定	-100	
#49	#68	回路中断报警检测时间，当温度低于下限或大于上限的时间大于参数设定时，#1/#2；bit0/bit1/bit8 输出回路中断报警；设定“0”时，回路中断报警无效	480	控制参数，设定范围为 0～7200s
#50	#69	回路中断检测死区设定，当温度给定值在设定范围时，回路中断报警功能无效	0	控制参数，单位为℃或℉（与传感器类型有关）
#70	#71	温度传感器输入类型选择	2	控制参数
#72～#75		温度检测报警 1～4 的功能设定。0，取消报警；1，大于设定值；2，小于设定值；3，温度偏差大于设定值；4，温度偏差小于设定值；5，温度偏差绝对值大于设定值；6，温度偏差绝对值小于设定值；7，大于设定值；8，小于设定值；9，偏差大于设定值；10，偏差小于设定值；11，偏差绝对值大于设定值；12，偏差大于设定值；13，偏差小于设定值；14，偏差绝对值大于设定值 以上 7～11，忽略电源“ON”时的偏差；12～14，忽略电源“ON”与设定变更后的偏差	0	控制参数。温度报警检测阈值分别设定。CH1，#13～#16；CH2，#22～#25
#76		温度报警 1～4 的检测阈值公差范围设定	1%	控制参数，单位为 0.1%，设定范围 0%～10.0%
#77		温度报警 1～4 检测延时（设定采样次数 n），只在连续 n 次采样均有温度报警时，报警信号才输出	0	控制参数，范围为 3～255s
#78		断线报警的检测延时（设定采样次数 n），只有在连续 n 次采样均有断线报警时，报警信号才输出	3	控制参数，范围为3～255s
#79		温度到达信号的检测范围	1	控制参数，单位为℃或℉

（续）

BFM#		参数设定	初始值	备注
CH1	CH2			
#80		温度到达信号的输出延时	0	控制参数,范围为3～255s
#81		电流监控模式设定。0,“ON”/“OFF”电流交替显示;1,只显示“ON”电流	0	控制参数
#82		参数设定错误的BFM号	0	状态输出
#83		EEPROM写命令。1,将BFM写到模块EEPROM中;0,EEPROM写入操作完成(自动为“0”)	0	控制命令,EEPROM写入过程中,模块状态输出信号BFM#0bit13=1

（6）输入类型　见表7-93。

表7-93　传感器类型设定

BFM#70(CH1)/#71(CH2)设定	传感器类型	温度范围/(℃或℉)	A-D输出单位
0	K	-200～200	0.1℃
1		-100～400	
2		-100～1300	1℃
3		-100～800	1℉
4		-100～2400	
5	J	-200～200	0.1℃
6		-100～400	
7		-100～800	
8		-100～1 200	1℃
9		-100～1 600	1℉
10		-100～2 100	
11	R	0～1 700	1℃
12		0～3 200	1℉
13	S	0～1 700	1℃
14		0～3 200	1℉
15	E	-200～200	0.1℃
16		0～1 000	1℃
17		0～1 800	1℉
18	T	-200～200	0.1℃
19		-200～400	
20		0～400	
21		-300～400	0.1℉
22		-300～700	
23		0～700	
24	B	0～1 800	1℃
25		0～3 000	1℉

（续）

BFM#70(CH1)/#71(CH2)设定	传感器类型	温度范围/(℃或℉)	A-D 输出单位
26	N	0～1 300	1℃
27		0～2 300	1℉
28	PLII	0～1 200	1℃
29		0～2 300	1℉
30	Wre5－26		1℃
31		0～3 000	1℉
32	U	－200～600	0.1℃
33		－300～700	0.1℉
34	L	0～900	0.1℃
35		0～1 600	0.1℉
36	JPt100	－50～150	0.1℃
37		－200～500	
38		－300～300	
39		－300～900	1℉
40	Pt100	－50～150	0.1℃
41		－200～500	
42		－300～300	0.1℉
43		－300～1 100	1℉

（7）编程示例　温度传感器的类型为 K 型（CH1、CH2 同），温度范围为－100～400℃，单位为 0.1℃；设温度 100℃（CH1、CH2 相同）；－30℃＞输出偏差＞30℃时报警，电源“ON”与设定变更后偏差忽略；中速响应；闭环自动控制方式；输出 ON/OFF 周期为 30s；加热/制冷方式为加热；回路中断延时 480s；回路中断报警死区 ±10℃；温度到信号范围为 ±3℃；电流监控模式设定 ON/OFF 电流交替显示。

X0＝1，参数#10～#81 初始化；X1＝1，复位模块报警输出；X2＝1，启动模块；X3＝1，启动 CHl 自动调谐；X4＝1，启动 CH2 自动调谐；X5＝1，参数写入 EEPROM。

M0～M15 模块报警；M20～M35 为 CH1 报警；M40～M55 为 CH2 报警。

状态输出：D0、D1 为 CH1、CH2 温度给定值；D3、D4 为 CH1、CH2 测量值。D5、D6 为 CHl、CH2 温度控制值输出；D7、D8 为 CHl、CH2 加热器电流测量值；D82 为设定错误 BFM 参数地址。Y0 模块报警；Y1、Y2 分别 CH1、CH2 加热器断线报警。

1）温度给定值。温度给定值精度 0.1℃，写入 D0/D1，程序见图 7-174。

2）模块报警与状态输出见图 7-175。

3）控制参数包括温度传感器输入类型、温度监控设定、工作方式、响

应速度等。BFM#70/BFM#71 设“1”；测温监控功能 1 与 2（BFM#72/BFM#73）分别定义“12”（偏差过大）、“13”（偏差过小），上/下用 TO 将参数写入对应模块 BFM，见图 7-176。

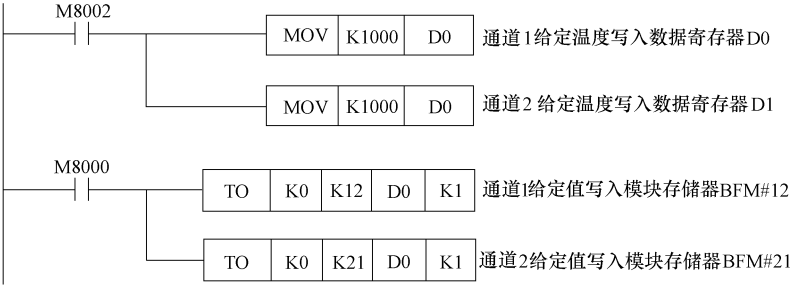


图 7-174　温度给定值的写入

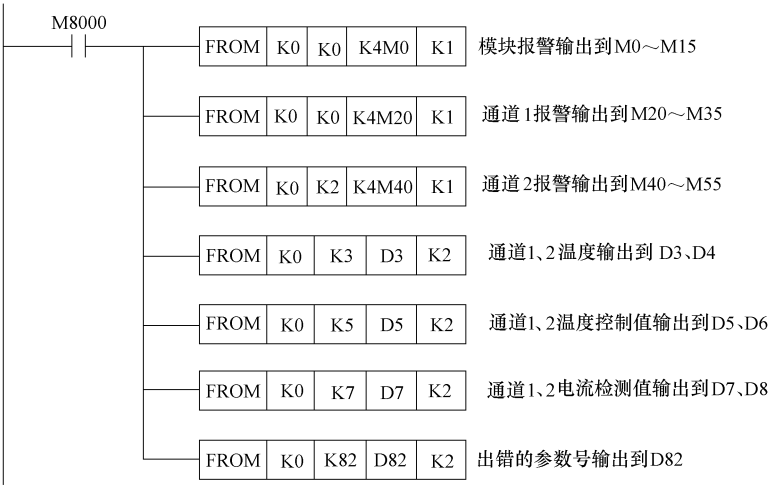


图 7-175　模块报警与状态输出

4）模块 I/O 控制程序见图 7-177。

九、模拟量控制系统程序

（1）指令功能与格式　PID 指令的格式见图 7-178。不可 32 位操作及边沿执行。

① 偏差计算。自动计算给定值与反馈值的偏差，实现闭环控制。

② PID 运算。对偏差作 P、I、D 运算，实现 PID 调节并输出。

③ 报警输出。对测量反馈输入与 PID 输出变化率监控，输出相应报警。

④ 输出限制。上/下极限设定，将 PID 输出限制在规定范围。

⑤自动调谐。自动设定 PID 调节参数。

图 7-176　模块控制参数的赋值程序

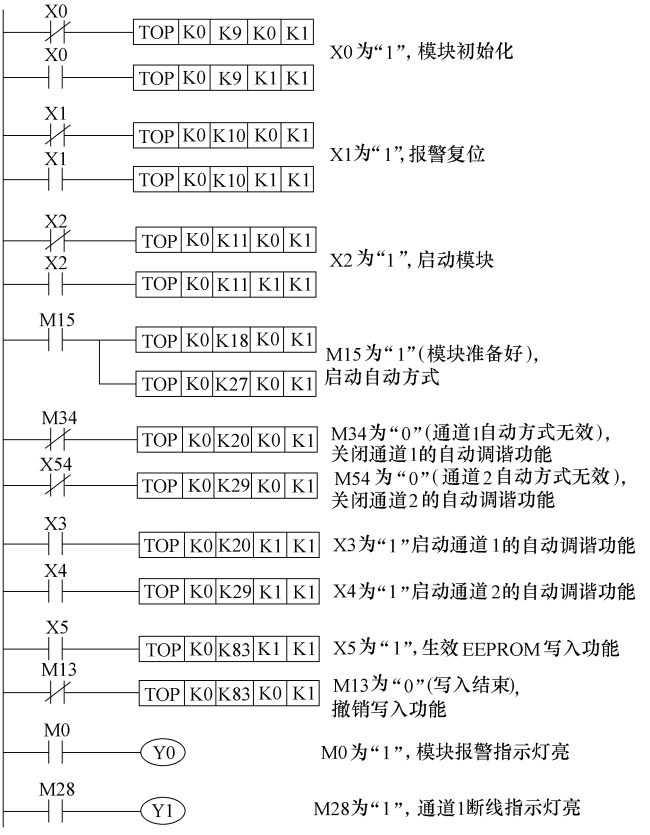


图 7-177　模块 I/O 控制程序

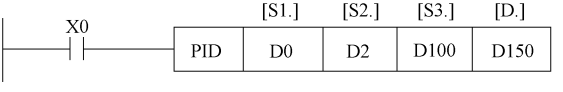


图 7-178　PID 指令的格式

［S1.］：D，给定输入存储器地址；［S2.］：D，反馈输入存储器地址；［S3.］：D，PID 调节与控制参数，连续 29 字。$FX_{1S/1N/2N}$ 系列 PLC 为 25 字；［D.］：D，PID 运算结果输出存储器地址；［S3.］：PID 控制参数设定，长度为 25 ~ 29 字，需要先进行程序设定，见表 7-94。PID 输出变化率监控与输出限制值设定参数相同，两种功能不能同时选择。

表 7-94　PID 控制参数的设定

参数地址		名称	设定范围	作用	备注
[S3]		采样周期	1～32 767ms	PID 的采样周期	设定大于 PLC 循环时间
[S3]+1	bit0	PID 选择	0/1	0,正动作;1,逆动作	
	bit1	反馈输入变化率监控功能设定	0/1	0,反馈变化率监控无效 1,反馈变化率监控有效	变化率监控阈值由[S3]+20 和[S3]+21 设定
	bit2①	PID 输出变化率监控功能设定	0/1	0,输出变化率监控无效;1,输出变化率监控有效(不能同时上/下限监控)	不能同时设定 bit5=1,变化率监控阈值由[S3]+22 和[S3]+23 设定
	bit3	不能使用	—	—	
	bit4	自动调谐设定	0/1	0,自动调谐无效 1,自动调谐有效	自动调谐完成后为“0”
	bit5①	PID 输出限制设定	0/1	0,PID 输出限制无效 1,PID 输出限制有效 (不能同时选择变化率监控)	不能同时设 bit2=1,PID 输出限制值由[S3]+22 和[S3]+23 设定
	bit6②	自动调谐方式选择	0/1	0,阶跃法; 1,极限循环法	$FX_{1S}/FX_{1N}/FX_{2N}$ 不能设定本参数,自动调谐固定为阶跃法
	bit7～bit15	不能使用	—	—	
[S3]+2		反馈输入滤波器常数 L	0%～99%	0,滤波器无效	
[S3]+3		比例增益 K_p	1%～32 767%		
[S3]+4		积分时间 T_i	0～32 767	0,积分调节无效	单位为 100ms
[S3]+5		微分增益 K_d	0%～100%	0,微分调节无效	
[S3]+6		微分时间 T_d	0～32767	0,微分调节无效	
[S3]+7～[S3]+19		PID 处理用	—	—	不能用

（续）

参数地址		名称	设定范围	作用	备注
［S3］+20		反馈输入变化率监控阈值	0～32 767	正向变化率阈值	（［S3］+1）bit1 = 1 时的反馈输入变化率监控值
［S3］+21			0～32 767	反向变化率阈值	
［S3］+22①		PID 输出变化率监控阈值	0～32 767	正向变化率阈值	（［S3］+1）bit2 = 1 时的 PID 输出变化率监控值
［S3］+23①			0～32 767	反向变化率阈值	
［S3］+22①		PID 输出上限值	0～32767	PID 输出的最大值	（［S3］+1）bit5 = 1 时的 PID 输出限制值
［S3］+23①		PID 输出下限值	0～32767	PID 输出的最小值	（［S3］+1）bit5 = 1 时的 PID 输出限制值
［S3］+24	bit0	反馈输入变化率超差	—	1，反馈输入正向变化率超差	报警，正常为“0”
	bit1		—	1，反馈输入反向变化率超差	
	bit2	PID 输出变化率超差	—	1，PID 输出正向变化率超差	
	bit3		—	1，PID 输出反向变化率超差	
［S3］+25②		自动调谐的到位范围	0%～100%	采用极限循环方式自动调谐时的设定参数	见后述
［S3］+26②		自动调谐 PID 输出最大值	0%～100%		
［S3］+27②		自动调谐 PID 输出最小值	0%～100%		
［S3］+28②		自动调谐完成等待时间	-50%～32717%		

① PID 输出变化率监控与 PID 输出限制值设定参数相同，2 种功能不能同时选择。

② 参数在 $FX_{1S}/FX_{1N}/FX_{2N}$ 系列 PLC 不能使用。

（2）PID 调节方式　闭环系统调节，P 有快速性，D 有预先性，I 消除稳态误差。FX 系列 PID 通过（［S3］＋1）bit0 设定正向与逆向调节。PID 输出随反馈增加而增加是“正动作”，PID 输出随反馈增加而减少是“逆动作”，见图 7-179。

（3）PID 调节运算　PID 调节运算包括比例增益 K_p、积分时间 T_i、微分时间 T_d、微分增益 K_d。其中，增加 K_p 可缩短调节时间但引起超调，见图 7-180。为消除闭环系统稳态误差，用 PI 调节及增加 I 后，系统误差通过积分调节累计，在偏差输入为“0”时系统输出仍保持。PI 调节过程中积分时间越短，系统响应快会引起系统超调，见图 7-181。用 PI 闭环系统在消除稳态误差时也延缓了系统响应速度，当受外部扰动时恢复速度慢，需 PID 调节增加系统快速性。K_d、T_d 的值越大，系统响应速度越快，见图 7-182。

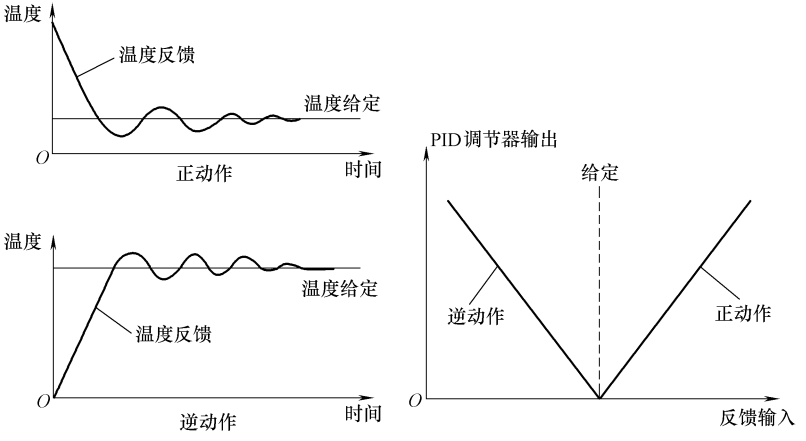


图 7-179　PID 调节的正动作与逆动作

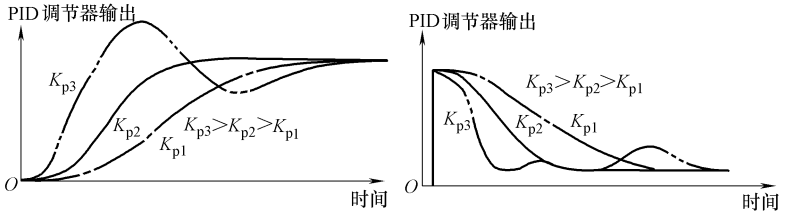


图 7-180　比例增益作用

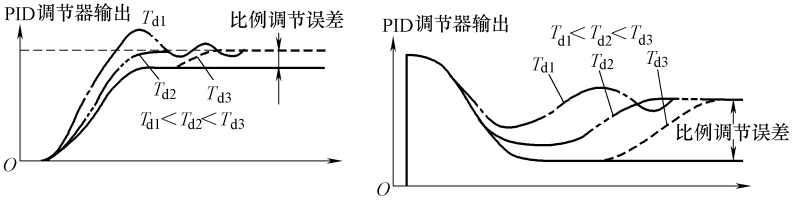


图 7-181　积分时间作用

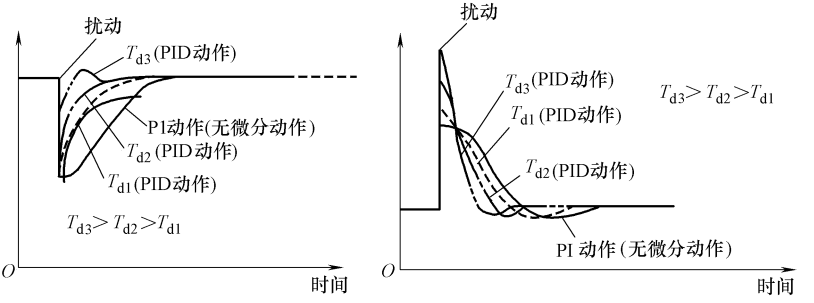


图 7-182　微分调节作用

（4）附加功能说明

1）变化率监控功能。由([S3]+1)bitl/bit2 设定，PID 选择“反馈输入变化率监控”与“PID 调节器输出变化率监控”。PID 输出变化率监控不能与 PID 输出限制同时选用。变化率指相邻 2 个采样周期数值变化量，正反向变化率监控阈值可分别设定，变化率超监控阈值报警，见图 7-183。

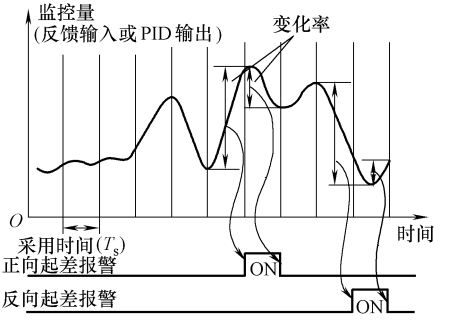


图 7-183　变化率监控功能

2）输出限制功能。将超限值 PID 输出限制在上限或下限范围内，见图7-184。由([S3]+1)bit5 设定，输出上/下限值由[S3]+22、[S3]+23 设定，输出上/下限与输出变化率监控阈值设

定相同，([S3]+1)bit5 与([S3]+1)bit2 设定区分，同一 PID 不能同时设定 2 种功能。

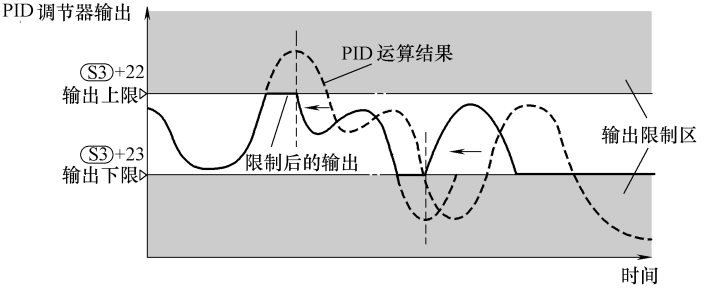


图 7-184　输出限制功能

(5) 自动调谐　自动设定 PID 调节参数。在 PID 输出强制施加输出值，再通过检测输入变化自动计算并设置 PID 参数。通过设定([S3]+1)bit6，用“阶跃法”与“极限循环法”完成系统自动调谐过程，自动设定 K_p、T_i、T_d。

① 阶跃法自动调谐。在 PID 调节输出强制加突变量，测量调节器输入变化死区时间 L 与最大斜率 R 确定 PID 参数，见图 7-185。

② 极限循环法自动调谐。PID 输出强制加入最大值与最小值循环变化突变量，测量输入变化振幅 a 与周期 τ 确定 PID 调节参数，见图 7-186，自

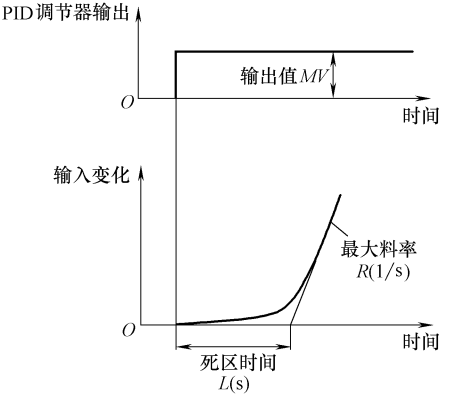


图 7-185　阶跃法自动调谐

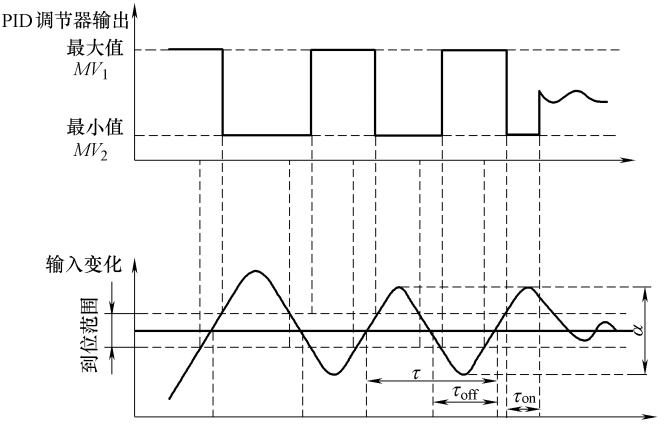


图 7-186　极限循环法自动调谐

动调谐参数 MV_1、MV_2与到位范围由[S3]+26、[S3]+27、[S3]+25 给定。([S3]+1)bit4 设定启动，调谐完成后([S3]+1)bit4 恢复“0”。

（6）项目示例　某加热系统，测温输入 FX_{2N}—4AD—TC 的 CH2，K 型热电偶，反馈输入滤波常数 70%；目标温度为 50℃，加热器输出为周期 2s 的 PWM 型，输出“ON”加热，PID 输出限制功能有效。X10 自动调谐启动；X11 为 PID 调节启动；Y0 为 PID 出错报警；Y1 为加热器控制；D500 目标温度，精度为 0.1℃；D501 温度反馈，精度为 0.1℃；D502 为 PID 输出；

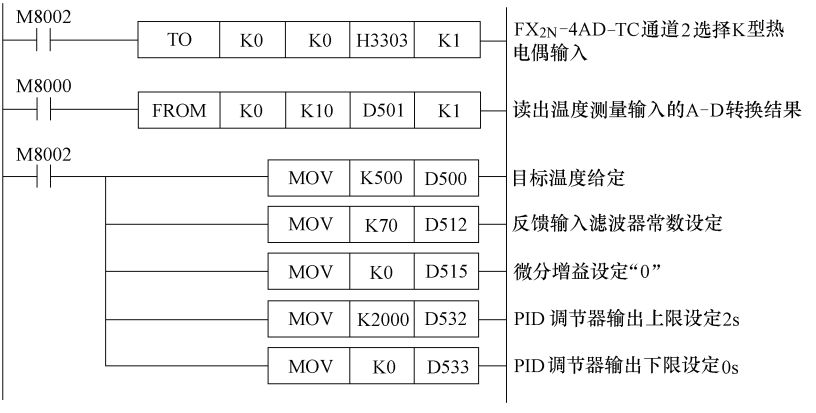


图 7-187　初始程序设定

PID 控制参数设定 D510 ~ D538。PID 参数自动调谐设定；自动调谐采样时间为 3s；阶跃调谐时的 PID 输出突变量为最大输出的 90%，PID 采样时间为 0.5s。

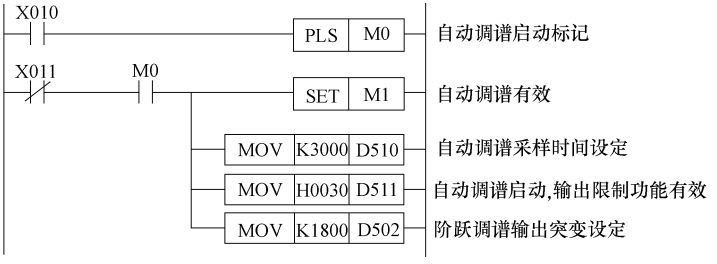


图 7-188　自动调谐参数设定

1）初始程序设定，见图 7-187。自动调谐与 PID 控制公共程序。目标温度精度 0.1℃，微分增益“0”为微分无效。PID 调节输出为加热器“ON”，输出 Yl 的 PWM 信号周期 2s，加热器 ON 上限 2s、下限 0s。

2）自动调谐参数设定，见图 7-188。X10 = 1 时有效。参数设定到起始地址 D510 的 PID 数据存储器。

3）PID 调节，见图 7-189。自动调谐与正常 PID 调节共用 PID 指令，正常 PID 调节时需修改采样时间。PLC 开机或控制时清除 PID 输出。

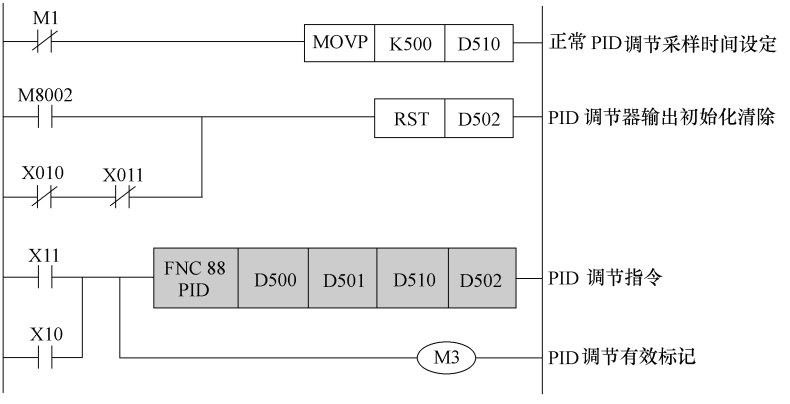


图 7-189　PID 调节

4）输出控制，见图 7-190。自动调谐执行完成状态检查 PID 参数（D511bit4）确认，自动调谐完成 D511 的 bit4 = 0，清除标记 M1。PWM 信号周期 2s。加热器输出 T246 当前时间与 PID 调节器输出 D502 比较，如 T246 的时间大于 PID 调节输出 D502，加热器 ON；反之 OFF。在 Y1 为 ON 时间受 D502 控制的 PWM 输出。PID 调节出错 M8067 = 1，驱动系统报警 Y0。

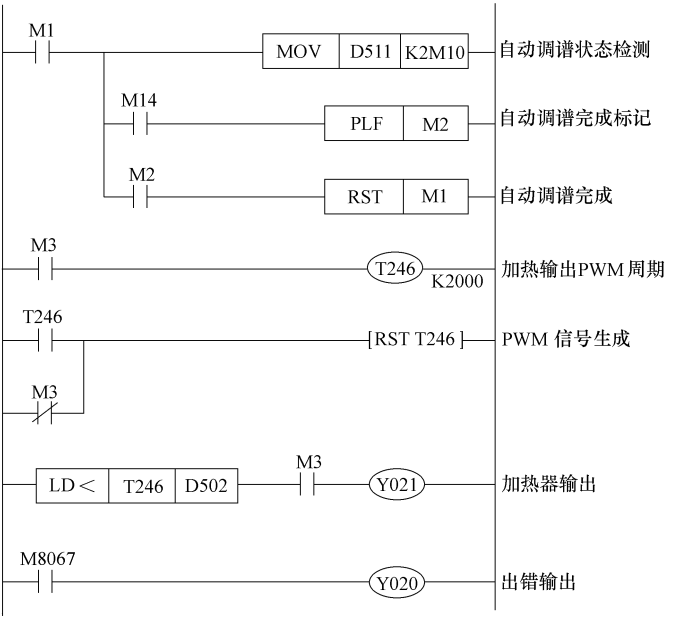


图 7-190　输出控制

第七节　Q 系列可编程序控制器

三菱 Q 系列 PLC 采用模块式结构，包括电源、CPU、基板、I/O、特殊模块等，通过扩展基板与 I/O 模块增加 I/O 点，扩展存储器卡增加程序存储器容量，见图 7-191。

一、主要特点

Q 系列基本型的

① I/O 配置。Q_{00J} 基本 I/O 点数不超过 256 点，Q_{00}/Q_{01} 点数不超过

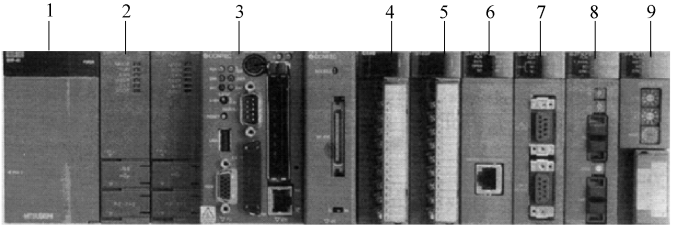


图 7-191　Q 系列 PLC

—电源模块　2—PLC CPU 模块　3—PC CPU 模块　4—输入模块　5—输出模块
6—以太网接口模块　7—串行通信模块　8—MELSEC NET/H 模块
9—CC－Link 模块

1024 点，通过 MELSECNET/H、I/O NETCC-Link 等网络链接，最大支持 2048 点；Q_{00J}扩展不超过 2 级，含主基板为 3 级，安装扩展模块不超过 16 个；Q_{00}/Q_{01}扩展级不超过 4 级，安装扩展模块不超过 64 个；扩展模块连接距离 13.2m。

② 存储容量。Q_{00J}/Q_{00}系列 8K 步，Q_{01}系列 14K 步。

③ 速度。基本指令 Q_{00J} 为 0.2μs、Q_{00} 系列为 0.16μs、Q_{01} 系列为 0.10μs，MELSECNET/H 通信数据刷新速度为 2.2ms/2KB。

④ 通信速度。用 RS－232 接口，115.2kbit/s 通信。

⑤ 网络通信。基本型通过 RS－232 与计算机、显示器通信，由 CC－Link 连接，PLC 对最多 32 个远程 I/O 模块控制，构成 PLC 系统。

⑥ CPU 采用 FlashROM 作为存储器。

Q 系列基本型 CPU 模块的性能参数见表 7-95。

表 7-95　Q 系列基本型 CPU 模块的性能参数

项目	CPU 类型		
	Q_{00J}	Q_{00}	Q_{01}
CPU 模块结构	CPU 模块、电源模块、5 槽主基板一体型	单独 CPU 模块	单独 CPU 模块
CPU 模块安装用主基板	不需要	需 Q33B 或 Q35B、Q38B、Q312B 主基板一块	
扩展模块安装用基板	可安装 Q52B、Q55B、Q63B、Q65B、Q68B、Q612B 扩展基板		
扩展的最大级数	2 级	4 级	
安装最大模块数	16 个	24 个	

（续）

项目		CPU 类型		
		Q_{00J}	Q_{00}	Q_{01}
电源模块	主基板用	不需要	需 Q61P-A1 或 Q61P-A2、Q62P、Q63P、Q64P 型电源模块 1 个	
	扩展基板 Q52B、Q55B	不需要		
	扩展基板 Q63B、Q65B、Q68B、Q612B	需 Q61P-A1 或 Q61P-A2、Q62P、Q63P、Q64P 型电源模块 1 个		
扩展电缆		需 QC05B、QC06B、QC12B、QC30B、QC50B、QC100B		
存储卡接口		无		
外部接口	RS-232	带（传输速度：9.6、19.2、38.4、57.6、115.2kbit/s）		
	USB	无		
处理速度	LDX0 指令/μs	0.20	0.16	0.10
	MOVD0D1 指令/μs	0.70	0.56	0.35
存储器	用户程序容量	8K 步（32KB）	8K 步（32KB）	14K 步（56KB）
	存储器总容量	58KB	94KB	
	标准 RAM	—	64KB	
	标准 ROM	58KB	94KB	
	装置辅助存储器	16.4KB 范围内		
	ROM 写入次数	10 万次		
	文件寄存器	无	32K 点	
最大 I/O 点数（含远程 I/O）		2048 点		
主机控制最大 I/O 点数		256	1024	
串行通信		无	有（用 CPU 上 RS－232 接口）	

二、系统构成与编程性能

1. 系统相成

（1）Q_{00J}系列　系统构成见图 7-192，扩展连接见图 7-193。图 7-193 为 Q68B 型 8 槽扩展基板与 Q65B 型扩展基板 2 级扩展连接。Q_{00J}系列 PLC 的 CPU 包括 CPU、带电源 5 槽主基板，不需要选择 Q3□□系列主基板，I/O 点少的系统只需选择 I/O 模块；Q_{00J}系列需要扩展时，根据扩展基板选用电源模块，Q6□□扩展基板需配电源模块、Q5□□扩展基板不需配电源；扩展基板安装 I/O 模块数或特殊模块数受 256 点与安装 16 个模块的双重限制。Q_{00J}系列 CPU 用触摸屏 GOT 后，只能连接 1 组。

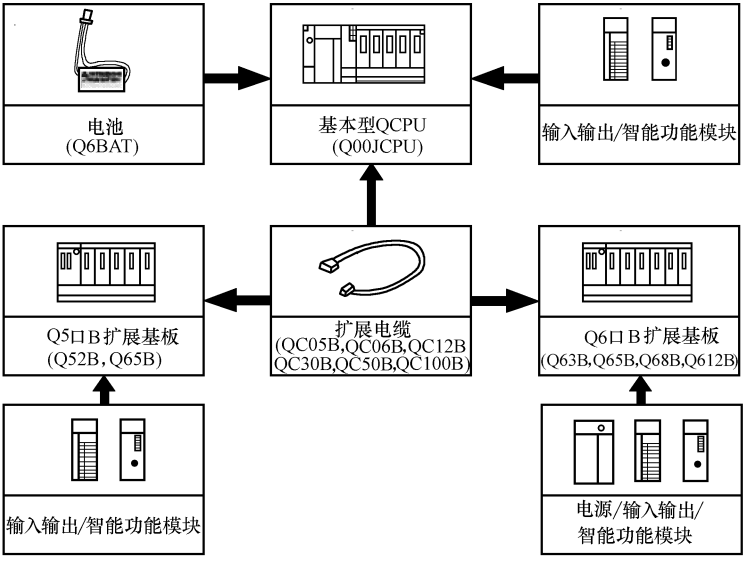


图 7-192　Q_{00J} 系列 PLC 系统构成

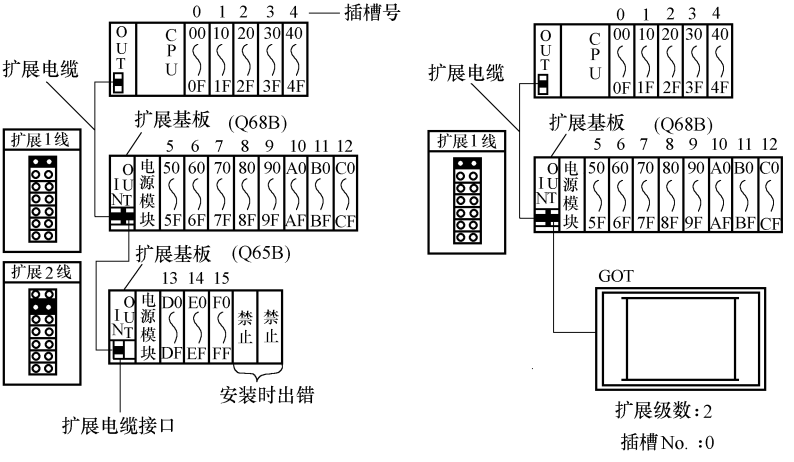


图 7-193　Q_{00J} 系列 PLC 扩展连接

（2）Q_{00}系列　系统构成见图 7-194，扩展连接见图 7-195。必须配置 CPU 模块的 Q3□□主基板与电源模块；Q_{00}型 CPU 最大 1024 点，扩展模块不超过 24 个，扩展级不超过 4；用触摸屏 GOT 后扩展基板减 1 组。

（3）Q_{01}系列　Q_{01}系列 CPU 模块运算速度是 Q_{00J}、Q_{00}系列 CPU 的 1.6 倍，存储器容量是 Q_{00J}、Q_{00}系列的 1.75 倍，三种 CPU 模块外部特性基本相同。

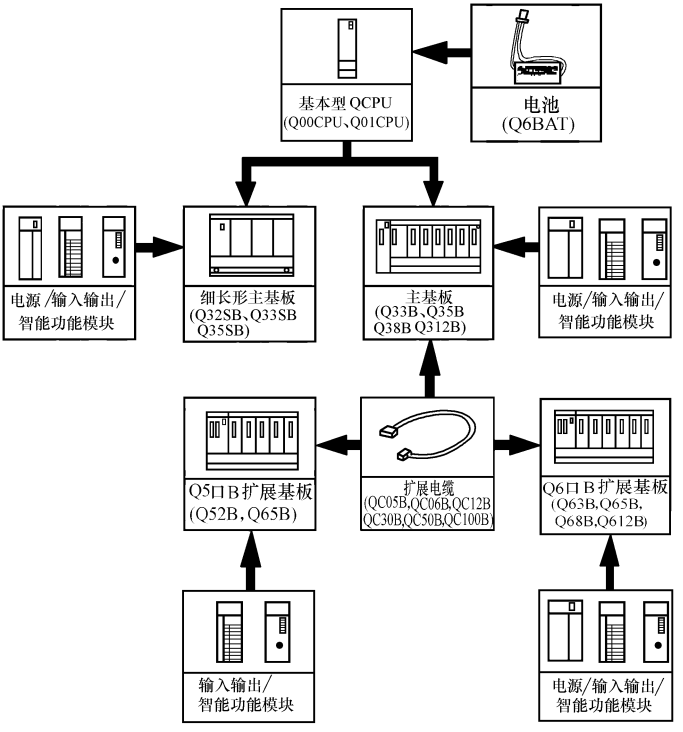


图 7-194　Q_{00}系列 PLC 系统构成

2. 编程性能

Q 系列基本型的编程性能见表 7-96。

三、电源模块

1. Q 系列 PLC 电源模块的规格

Q_{00J}系列 PLC 的 CPU、电源模块一体化，电源规格见表 7-97。

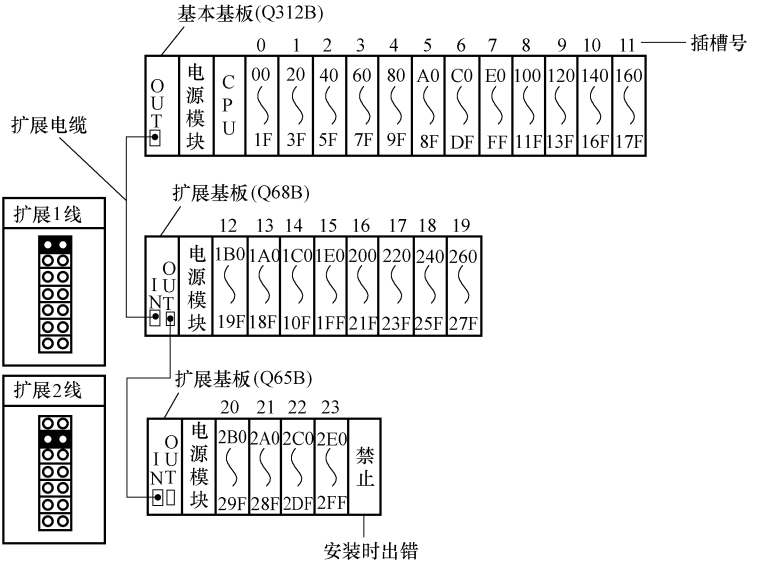


图 7-195　Q_{00} 系列 PLC 扩展连接

表 7-96　Q 系列基本型的编程性能

项目		编程性能		
		Q_{00J} 系列	Q_{00} 系列	Q_{01} 系列
编程语言		指令表、梯形图、SFC、MELSAP-L、ST		
存储器容量	步数	8K 步	8K 步	14K 步
	文件数	1	1	1
速度/(μs/条)	LD 指令	0.2	0.16	0.1
	MOV 指令	0.7	0.56	0.35
输入/输出点	可编程点数/点	2048		
	可控点数/点	256	1024	
指令数		318	327	
辅助继电器 M		M0 ~ M8191		
锁存继电器 L		L0 ~ L2047		
特殊辅助继电器 SM		SM0 ~ SM1023		
状态继电器 S		S0 ~ S2047		
报警继电器 F		F0 ~ F1023		
边沿继电器 V		V0 ~ V1023		
链接继电器 B		B0 ~ B7FF		

（续）

项目		编程性能		
		Q_{00J}系列	Q_{00}系列	Q_{01}系列
特殊链接继电器 SB		SB0 ~ SB3FF		
链接寄存器 W		W0 ~ W7FF		
特殊链接寄存器 SW		SW0 ~ SW3FF		
定时器 T		T0 ~ T511		
累计定时器 ST		ST0 ~ ST511		
计数器	普通	C0 ~ C511		
	中断	最大 128 点(参数设定)		
数据寄存器	通用 D	D0 ~ D11135		
	文件寄存器 R	不可设置	R0 ~ R32767	
	特殊数据寄存器 SD	SD0 ~ SD1023		
	变址 Z	Z0 ~ Z9		
指针	跳转 P	P0 ~ P299		
	中断 I	I0 ~ I127		
功能编程	功能输入	FX0 ~ FXF		
	功能输出	FY0 ~ FYF		
	功能寄存器	FD0 ~ FD4		

表 7-97　Q_{00J}系列 PLC 电源模块的规格

项目	主要参数	项目	主要参数
额定输入电压	AC 100 ~ 240V；+10%，-15%	额定输出电流	5V/3A(内部过电流保护 3.3A)
允许输入电压	AC85 ~ 264V	额定输出电压	DC 5V(内部过电压保护 5.5V)
额定输入频率	50/60Hz ±5%	状态指示	LED(5V 输出时亮)
输入电源容量	105V · A		

Q_{00J}/Q_{00}/Q_{01}系列 PLC 有独立电源模块，包括 Q61、Q62P、Q63P 和 Q64P 系列电源模块，用于 Q_{00J}型扩展基板及配套 Q_{00}/Q_{01}型主基板、扩展基板，电源模块取决于系统 I/O 点、扩展基板型号及扩展模块数量。它们的规格见表 7-98、表 7-99。

表 7-98　Q61 系列电源模块的规格

项目	主要参数		
	Q61P-A1	Q61P-A2	Q61SP(超薄型)
额定输入电压	AC 100 ~ 120V；+10%，-15%	AC 200 ~ 240V；+10%，-15%	AC 100 ~ 240V；+10%，-15%

（续）

项目	主要参数		
	Q61P-A1	Q61P-A2	Q61SP(超薄型)
输入电压范围	AC 85～132V	AC 170～264V	AC 85～264V
额定输入频率	50/60Hz±5%		
输入电源容量	105VA		40VA
额定输出电流	5V/6A(过电流保护6.6A)		5V/2A(过电流保护2.2A)
额定输出电压	DC5V(内部过电压保护5.5～6.5V)		
适用基板	Q6□、Q3□		
状态指示	LED(5V输出时亮)		
触点输出	CPU门口出错(ERR)时输出,驱动能力:DC 24V/0.5A		

表 7-99　Q62/Q63/Q64P 电源模块的规格

项目	主要参数		
	Q62P	Q63P	Q64P
额定输入电压	AC 100～240V	DC 24V	AC 100～120V/ AC 200～240V
允许输入 电压范围	AC 85～264V	DC 15.6～31.2V	AC 85～132V/ AC 170～264V
额定输入频率	50/60Hz±5%	—	50/60Hz±5%
输入电源容量	105VA	45W	160VA
额定输出电流	5V/3A(过电流保护,3.3A);24V/0.5A	5V/6A(过电流保护,6.6A)	5V/8.5A(过电流保护,9.9A)
额定输出电压	DC 5V(内部过电压保护5.5～6.5V)		
适用基板	Q6□、Q3□		
状态指示	LED(5V输出时亮)		
触点输出	CPU出错(ERR)时输出。驱动能力DC 24V/0.5A		

2. 电源模块的选择

（1）容量　主要考虑CPU模块5V消耗；主基板扩展模块、功能模块5V消耗；Q52B、Q53B扩展基板5V消耗；Q52B、Q53B扩展基板的扩展模块、功能模块的5V消耗。特别应注意的是，因Q52B、Q53B扩展基板不能安装电源模块，计算主基板电源容量时，必须考虑Q52B、Q53B扩展基板及扩展模块、功能模块电源消耗。电源消耗根据具体模块计算。使用Q52B、Q53B扩展基板时，Q52B、Q53B扩展基板与主基板间电缆尽量短；电源消耗大的I/O模块、功能模块安置于主基板。

（2）电压　Q61P-A1为AC 100V，Q61P-A2为AC 200V，Q64P为AC

100/200V 自动切换型。

四、基板

（1）分类　基板内部有控制总线，用于安装 PLC 模块。可分为主基板与扩展基板两类，前者用于安装 CPU 及其他模块，后者只能安装扩展模块；扩展基板又分为需要和不需要电源两类。Q_{00J} 系列 PLC 模块自带主基板，但需扩展 I/O 点或功能模块时，扩展基板及扩展基板的电源模块要另行选择。Q_{00}/Q_{01} 系列 PLC 必须选择主基板及主基板电源，扩展基板根据系统实际选用。

（2）主基板　Q_{00}/Q_{01} 系列 PLC 主基板有 Q32SB、Q33SB、Q35SB、Q33B、Q35B、Q38B、Q312B 等。其中“3”为主基板，“S”为“超薄型主基板”，只用于 Q61SP 型电源模块，不可连接扩展模块。主基板的型号见图 7-196，扩展基板的型号见图 7-197，主基板的规格见表 7-100。

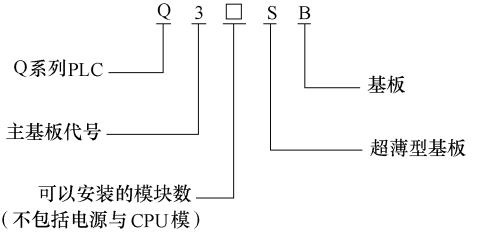


图 7-196　主基板的型号

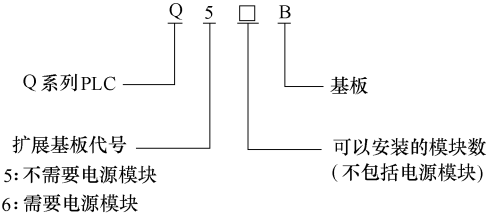


图 7-197　扩展基板的型号

表 7-100　$Q_{00J}/Q_{00}/Q_{01}$ 系列 PLC 主基板的规格

型号	主要参数			
	可安装模块数/个	5V 电流消耗/mA	扩展性能	安装模块的类型
Q32SB	2	80	不可扩展	Q61SP 电源 + CPU + 2 个模块
Q33SB	3	85		Q61SP 电源 + CPU + 3 个模块
Q35SB	5	100		Q61SP 电源 + CPU + 5 个模块

（续）

型号	主要参数			
	可安装模块数/个	5V 电流消耗/mA	扩展性能	安装模块的类型
Q33B	3	105	可扩展	电源 + CPU + 3 个模块
Q35B	5	110		电源 + CPU + 5 个模块
Q38B	8	114		电源 + CPU + 8 个模块
Q312B	12	121		电源 + CPU + 12 个模块

（3）扩展基板　扩展模块增加 I/O 点数，有 Q52B、Q55B、Q63B、Q65B、Q68B、Q612B 等。其中“5”为不需要电源模块扩展基板；“6”为需要电源模块扩展基板，可基板安装模块数是指实际的 I/O 模块数，不含电源模块安装位置，见表 7-101。

表 7-101　Q_{00J}/Q_{00}/Q_{01} 系列 PLC 扩展基板的规格

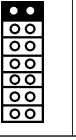
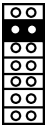
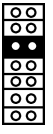
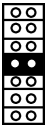
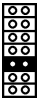
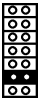
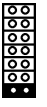
型号	主要参数			
	可安装模块数/个	5V 电流消耗/mA	扩展性能	安装模块的类型
Q52B	2	80	可扩展	2 个模块
Q55B	5	100		5 个模块
Q63B	3	105		电源 + 3 个模块
Q65B	5	110		电源 + 5 个模块
Q68B	8	114		电源 + 8 个模块
Q612B	12	121		电源 + 12 个模块

注意：Q_{00J}/Q_{00}/Q_{01} 系列 PLC 扩展时需要基板上设定扩展级数，见表 7-102。

五、扩展电缆

扩展电缆用于主基板与扩展基板、扩展基板之间的连接，型号 QC□□B，□□为“分米”。

表 7-102　Q_{00J}/Q_{00}/Q_{01} 系列基板地址设定

	扩展级数设置						
	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级	第 6 级	第 7 级
级数设置接口的设置							
Q00JCPU	可设置		禁止设置		禁止设置		
Q00CPU Q01CPU	可设置						

六、典型模块

1. I/O 模块

Q 系列 PLC 基本 I/O 模块见表 7-103。

表 7-103　Q 系列 PLC 基本 I/O 模块

型号		名称	功能	DC 5V 消耗/mA
输入模块	QX10	16 点	AC 100～120V/8mA 输入,16 点公共端	50
	QX28	8 点	AC 100～240V/7～17mA 输入,8 点公共端	
	QX40	16 点	DC 24V/4mA 输入,汇点,16 点公共端	
	QX40-S1	16 点高速	DC 24V/6mA 输入,汇点,高速(0.1～1ms 应答),16 点公共端	60
	QX41	32 点	DC 24V/4mA 输入,汇点,32 点公共端	75
	QX41-S1	32 点高速	DC 24V/4mA 输入,汇点,高速(0.1～1ms 应答),32 点公共端	
	QX42	64 点	DC 24V/4mA 输入,汇点,带 32 点公共端	90
	QX42-S1	64 点高速	DC 24V/4mA 输入,汇点,高速(0.1～1ms 应答),32 点公共端	
	QX70	16 点	DC 5V/1.2mA, DC 12V/3.3mA 输入,汇点/源通用,16 点公共端	55
	QX71	32 点	DC 5V/1.2mA, DC 12V/3.3mA 输入,汇点/源通用,32 点公共端	
	QX72	64 点	DC 5V/1.2mA, DC 12V/3.3mA 输入,汇点/源通用,32 点公共端	65
	QX80	16 点	DC 24V/4mA,源输入,16 点公共端	50
	QX81	32 点	DC 24V/4mA,源输入,32 点公共端	75
	QX82	64 点	DC 24V/4mA,源输入,32 点公共端	90
	QX82-S1		DC 24V/4mA 输入,汇点,高速(0.1～1ms 应答),32 点公共端	
	Q160	16 点中断	DC 24V/4mA 中断输入,汇点,高速(0.1～1ms 应答),16 点公共端	140
输出模块	QY10	16 点	DC 24V/AC 240V,2A;继电器输出,8 点公共端	430
	QY18A	8 点	8 点,DC 24V/AC 240V,2A;继电器输出,独立触点	

（续）

型号		名称	功能	DC 5V 消耗/mA
输出模块	QY22	16 点	AC 100/240V，25mA；双向晶闸管输出，16 点公共端	400
	QY40P		DC 12/24V，0.1A；晶体管输出，汇点，16 点公共端	65
	QY41P	32 点	DC 12/24V，0.1A；晶体管输出，汇点，32 点公共端	105
	QY42P	64 点	DC 12/24V，0.1A；晶体管输出，汇点，32 点公共端	150
	QY50	16 点	DC 12/24V，0.5A；晶体管输出，汇点，16 点公共端	60
	QY68A	8 点	DC 5/12/24V，2A；晶体管独立输出，源/汇点通用	110
	QY70	16 点	DC 5/12V，10mA；晶体管输出，汇点，16 点公共端	95
	QY71	32 点	DC 5/12V，16mA；晶体管输出，汇点，32 点公共端	150
	QY80	16 点	DC 12/24V，0.5A；晶体管源输出，带 16 点公共端，熔断器保护	80
	QY81P	32 点	DC 12/24V，0.1A；晶体管源输出，32 点公共端	95
混合模块	QH42P	64 点输入/输出	输入 32 点，DC 24V，汇点；输出 32 点，DC 12/24V，0.1A；晶体管汇点，32 点公共端	130
	QX48Y57	15 点输入/输出	8 点 DC 24V 输入，汇点；7 点，DC 12/24V，0.5A；晶体管汇点	80
	QG60	空模块	未安装模块盖板	

2. 通信模块

Q 系列 PLC 基本型通信模块见表 7-104。

表 7-104　Q 系列 PLC 基本型通信模块

型号	名称与功能	占 I/O 点数	DC 5V 消耗/mA
QJ71WS96	Web 服务器，10BASE-T/100BASE-TX；1 通道；RS-232；1 通道	32 点	650
QJ71E71	Ethernet 接口模块（10BASE-T，10BASE5）		500

（续）

型号	名称与功能	占 I/O 点数	DC 5V 消耗/mA
QJ71E71-B2	Ethernet 接口模块(10BASE2)	32 点	700
QJ71E71-B5	Ethernet 接口模块(10BASE5)		
QJ71E71-100	Ethernet 接口模块(100BASE-TX,10BASE-T)		500
QJ71BR11	MELSECNET/H 接口模块,10Mbit/s;同轴电缆,网络、远程 I/O 主站		750
QJ71LP21-25	MELSECNET/H 接口模块,10/25Mbit/s;SI/QSI 光缆,网络、远程 I/O 主站		550
QJ71LP21G	MELSECNET/H 接口模块,10Mbit/s;GI-50/125 光缆,网络、远程 I/O 主站		550
QJ71FL71-F01	FL-net(OPCN-2)接口模块(10BASE-T,10BASE5)		700
QJ71FL71-B2-F01	FL-net(OPCN-2)接口模块(10BASE2)		
QJ61BT11	CC-Link 接口模块,主站		460
QJ61CL12	CC-Link/LT 接口模块,主站		130
QJ71AS92	AS-i 接口模块,主站		400
QJ71C24N	RS-232、RS-422/485 接口模块,各 1 通道;2 通道合计传输速度:230.4kbit/s		280
QJ71C24N-R4	RS-422/485 接口模块,2 通道;2 通道合计传输速度:230.4kbit/s		240
QJ71C24N-R2	RS-232 接口模块,2 通道;2 通道合计传输速度:230.4kbit/s		
QJ71CMO	RS-232,调制解调器,各 1 通道		460
QD51	RS-232,2 通道,BASIC 程序		400
QD51-R24	RS-232,RS-422/485 接口各 1 通道,BASIC 程序		

3. 特殊模块

Q 系列 PLC 特殊模块见表 7-105。

表 7-105　Q 系列 PLC 特殊模块

模块型号	名　称	占 I/O 点数	DC5V 消耗/mA
Q64AD-GH	4 通道输入(电压、电流),通道间绝缘	16 点	890
Q64AD-DGH	2 通道输入(电流)		220
Q64AD	4 通道输入(电压、电流)		630

（续）

模块型号	名　称	占 I/O 点数	DC5V 消耗/mA
Q68ADV	8 通道输入(电压)	16 点	640
Q68ADI	8 通道输入(电流)		640
Q62DA－FG	2 通道输出(电压、电流),通道间绝缘		370
Q62DA	2 通道输出(电压、电流)		330
Q64DA	4 通道输出(电压、电流)		340
Q68DAV	8 通道输出(电压)		390
Q68DAI	8 通道输出(电流)		380
Q64TDV－GH	4 通道热电偶输入,通道间绝缘		500
Q64TD	4 通道热电偶输入		500
Q64RD	4 通道铂电阻输入		600
Q64TCTT	4 通道热电偶输入,晶体管输出		550
Q64TCTTBW	4 通道热电偶输入,晶体管输出,带断线检测		640
Q64TCRT	4 通道铂电阻输入,晶体管输出		550
Q64TCRTBW	4 通道铂电阻输入,晶体管输出,带断线检测	32 点	640
QD62	DC 输入,汇点输出高速计数	16 点	300
QD62E	DC 输入,源输出高速计数		330
QD62D	DC 输入,差动、汇点输出高速计数		380
QD60P7-G	8 通道脉冲输入,通道间绝缘	32 点	580
QD70P4	集电极开路脉冲输出,4 轴		550
QD70P8	集电极开路脉冲输出,8 轴		740
QD75P1	集电极开路脉冲输出,1 轴		400
QD75P2	集电极开路脉冲输出,2 轴		460
QD75P4	集电极开路脉冲输出,4 轴		580
QD75D1	差动脉冲输出,1 轴		520
QD75D2	差动脉冲输出,2 轴		560
QD75D4	差动脉冲输出,4 轴		820
QD75M1	SSCNET 接口,1 轴		400
QD75M2	SSCNET 接口,2 轴		
QD75M4	SSCNET 接口,4 轴		
QD35ID1	读写器接口,1 台		
QD35ID2	读写器接口,2 台		420

（1）A-D 模块

1）性能参数：A-D 模块的性能参数见表 7-106，由 GX Developer 设定

输入范围。

2）I/O 转换特性：将外部模拟量转换成数字量，可设置偏置和增益值。偏置值表示数字输出值变为 0 的输入值；增益值表示使数字输出值变为典型数值的输入值，如 4 000、12 000（选择 0 ~ 5V、1 ~ 5V、4 ~ 20mA、0 ~ 20mA 或用户范围设置时）、16 000（选择 -10 ~ 10V 或 0 ~ 10V 时）。

3）精度：以上数字输出最大值，即使更改偏置/增益、输入范围和分辨率，精度也不发生改变。

4）A-D 功能：A-D 转换允许/禁止功能；禁止未使用通道 A-D 转换，可缩短采样时间；A-D 包括采样处理和平均处理、最大值和最小值保持功能等。自动补偿因环境温度变化引起误差，可用所有通道的 A-D 转换时间 +160μs执行温度漂移补偿功能；分辨率模式，可切换至 1/4 000，1/12 000 或 1/16 000；分辨率设置适用于所有通道。

① 采样处理。对输入 A-D 转换数字输出值存至缓冲存储器 BFM，不带温度漂移补偿时，处理时间是使用通道数 ×80μs；带温度漂移补偿时，处理时间是使用通道数 ×80μs + 160μs。

② 平均处理。对指定平均处理的通道，按设定次数或时间进行 A-D 转换，计算平均值存至缓冲存储器 BFM。

5）外部接线：扩展电缆与基本单元或扩展单元连接，外部输入与模块的连接见图 7-198。

表 7-106　A-D 模块的性能参数

项目		Q64AD	Q68ADV	Q68ADI
模拟输入通道数		4 个	8 个	8 个
模拟输入	电压	-10 ~ 10V（输入电阻值 1MΩ）		—
	电流	0 ~ 20mA（输入电阻 250Ω）	—	0 ~ 20mA（输入电阻 250Ω）
数字输出		16 位标志的二进制（正常分辨率 -4 096 ~ 4 095、高分辨率模式 -12 288 ~ 12 287、-16 384 ~ 16 383）		
转换时间		80μs/CH		
绝对最大输入		电压 ±15V、电流 ±30mA		
I/O 点数		16 点		

（2）D-A 模块　由 GXDeveloper 设置输出范围、偏置/增益类型。该模块具有同步输出功能，将从 CPU 写入数字值后直到输出模拟值的时间设定为恒定时间如 120μs，该功能与 CPU 恒定周期执行程序或恒定扫描功能一起使用，实现高精度控制。模拟输出 HOLD/CLEAR 功能设置在 CPU 模块处于

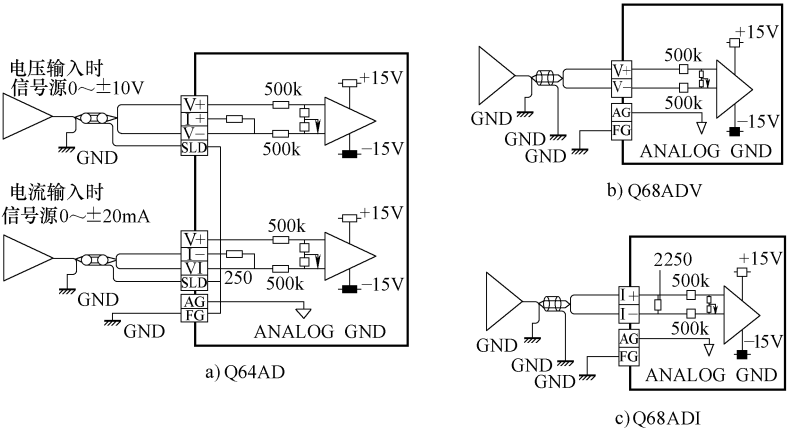


图 7-198　外部模拟量外部输入与模块的连接

STOP 状态或停止出错时，保持或清除模拟输出值。

1）性能参数：D-A 模块的性能参数见表 7-107。

2）I/O 转换特性：数字量转换成模拟量电压或电流。可设置偏置/增益值。增益值是从 CPU 设置数字输入值典型的模拟输出值 4 000、12 000（选择 1～5V、0～5V、4～20mA、0～20mA 或用户设置时）、16 000（选择 -10～10V 时）。

3）D-A 模块功能：与 CPU 同步模拟输出，请求 YD→ON，并再过指定为 CPU 处理时间 +120μs 后将更新输出，固定 CH1；智能功能模块开关用于设置 CPU 运行状态，并保持或清除输出模拟值，见表 7-108。

4）外部接线：模拟量输出与外部的连接见图 7-199。

表 7-107　D-A 模块的性能参数

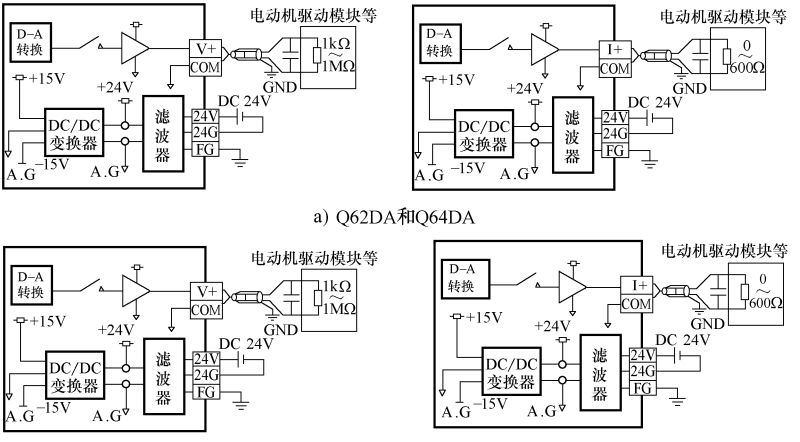
项目		Q62DA	Q64DA	Q68DAV	Q68DAI
模拟输出		2CH	4CH	8CH	
模拟输出	电压	DC -10～10V(外部负载电阻值 1kΩ～1MΩ)			—
	电流	DC 0～20mA (外部负载电阻 0～600Ω)		—	0～20mA(外部负载电阻 0～600Ω)
数字输入		16 位标志的二进制(正常分辨率 -4096～4095,高分辨率模式 -12 288～12 287、-16 384～16 383)			

（续）

项目		Q62DA	Q64DA	Q68DAV	Q68DAI
转换速度		80μs/CH			
绝对最大输出	电压	±12V			—
	电流	21mA		—	21mA
I/O 点数		16 点			
精度	环境温度（25±5）℃	±0.1%以内（电压±10mV，电流±20μA）			
	环境温度 0～55℃	±0.3%以内（电压±30mV，电流±60μA）			

表 7-108　模拟输出状态组合

设置组合执行状态	D-A 转换允许/禁止	允许			禁止
	CH□输出允许/禁止	允许		禁止	允许或禁止
	HOLD/CLEAR 设置	HOLD	CLEAR	HOLD 或 CLEAR	HOLD 或 CLEAR
CPU 运行时的模拟输出状态		输出数模转换的数字值的模拟值		偏置	0V/0mA
CPU 停止时的模拟输出状态		保持	偏置		
CPU 停止出错时模拟输出状态					
Q62DA、Q64DA、Q68DAV 或 Q68DAI 中 WDT 出错时的模拟输出状态		0V/0mA	0V/0mA	0V/0mA	



a) Q62DA和Q64DA

b) Q68DAV　　c) Q68DAI

图 7-199　模拟量输出与外部的连接

七、I/O 地址分配

1. 自动分配

未设置参数时，PLC 通电时系统即默认，按插槽所插模块位置（除 CPU 模块外），自动从左至右且从 0 开始按十六进制分配 I/O 地址。各模块占 I/O 点的基本规则见表 7-109。

（1）I/O 地址计算　知道每个模块占用 I/O 点数后，对 PLC 系统自动分配 I/O 地址进行计算，其中空槽默认 16 点；如遇扩展基板，则在主基板最后 1 个 I/O 地址号后延续计算，多级基板也依次顺延。

表 7-109　各模块占 I/O 点的基本规则

	占点数		占点数
I/O 模块	取决于模块硬件点数	通信模块①	32 点
模拟量模块①	16 点	定位模块①	
高速计数模块①			

① 具体占用点根据智能功能模块差异，查产品手册。

（2）地址分配示例　如图 7-200 所示，CPU 模块后面需要依次安装 32 点 X41、64 点 Y42P、MELSEC NET/H 通信模块 QJ71LP21－25，I/O 地址自动地分配，计算实际 I/O 地址后，如 QX41 地址 X0～X1F；对 QY42P 地址从 20 开始，模块 Y1 对应程序中 Y21。

2. 人工分配

根据实际自动设置 I/O 地址与点数。针对所用模块，对更换模块可能占用的 I/O 点预留，更换模块时，无需对 I/O 编号更改可直接使用；当占用 16 点以外，I/O 模块或智能功能模块因故障被拆除时，可防止 I/O 编号发生变化；在实际系统中 I/O 编号可能与设计的程序中 I/O 编号不同，此时可将基板上模块改变与程序一致。

GXDeveloper 中，单击“参数”→“PLC 参数”，选择“I/O 分配”选项，见图 7-201、图 7-202。

（1）插槽　显示插槽编号和所处位置。在“基本模式”中选择“自动”，基板编号显示“□”。选择“详细”时，基板编号从基本到扩展逐级连续下去；插槽编号为从主基板插槽“0”开始的插槽数。也可选择“读取 PLC 数据”读取当前模块类型和占用点数。

（2）类型　显示 7 种类型即空余、输入、高速输入、输出、I/O 混合、智能、中断。如未指定类型，选用实际安装模块的类型。

（3）型号　输入半角 16 个字符以内的安装模块型号，CPU 模块不使用

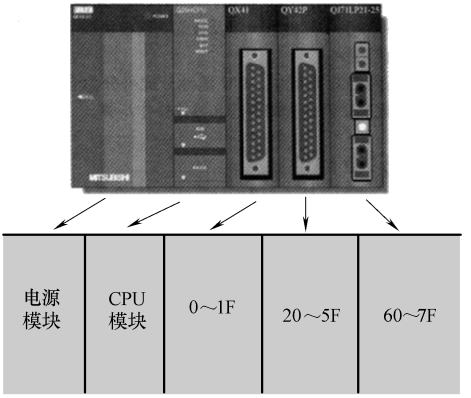


图 7-200　I/O 地址自动分配示例

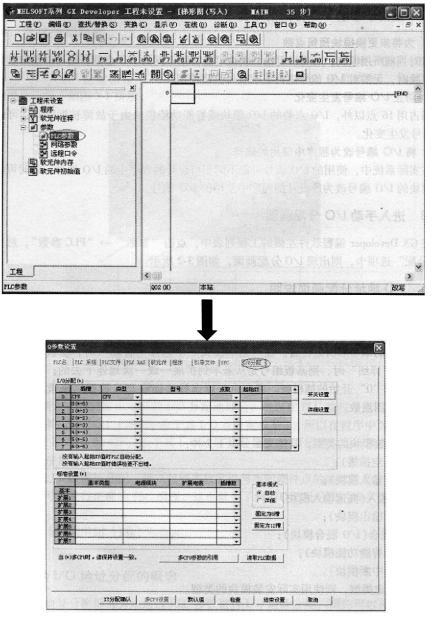


图 7-201　I/O 分配

所输入的型号。

（4）点数　显示模块占用 I/O 点数，对各槽 I/O 点更改时可选择 0、

16、32、48、64、128、256、512 和 1024 点。未对点数选择时则使用实际模块点数。对空槽所占点数，可按“参数”→“PLC 参数”→“PLC 系统”进行设置，见图 7-203，默认 16 点。

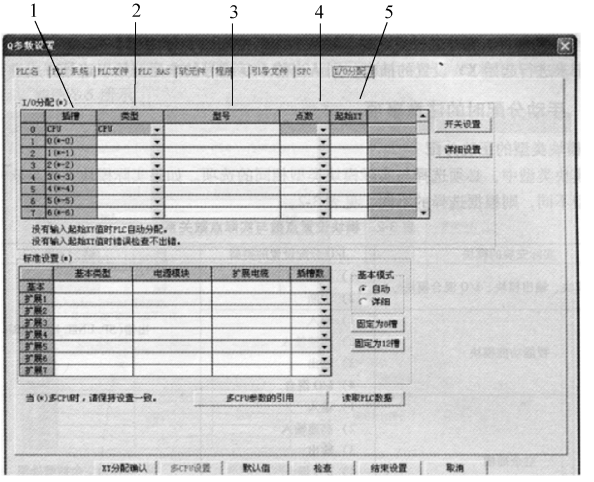


图 7-202　具体 I/O 分配布局

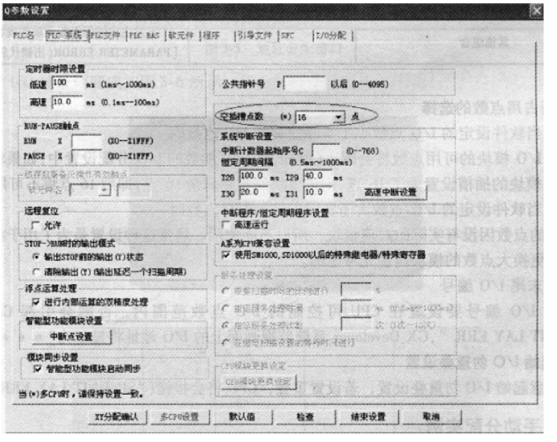


图 7-203　空插槽点数分配示例

注意事项如下：

1）模块类型分配见表 7-110。

表 7-110　模块类型分配

实际安装的模块	I/O 分配设置的类型	结果
输入模块、输出模块、I/O 混合模块	智能;中断	出错(SP. UNIT. LAY. ERR.)
智能功能模块	输入;高速输入;输出;I/O 混合	
空余插槽	输入;高速输入;输出;I/O 混合;智能;中断	作为空余插槽处理
所有模块	空余	
其他组合	—	不发生出错但引起误动作或出错

2）占用点数选择。设定 I/O 点数少于实际 I/O 点数时，安装 I/O 模块实际可用点数减小；设定 I/O 点数多于实际 I/O 点数时数，多出点不可用。

3）人工分配示例。当 PLC 系统配置为电源、CPU、QX41、QY42P、MELSEC NET/H 通信模块 QJ71LP21 - 25 时，自动分配 I/O 地址，见图 7-204。当将 QX41 换成 QX42 并作为预留时，人工将 I/O 地址分配成占用 64 点，见图 7-205。

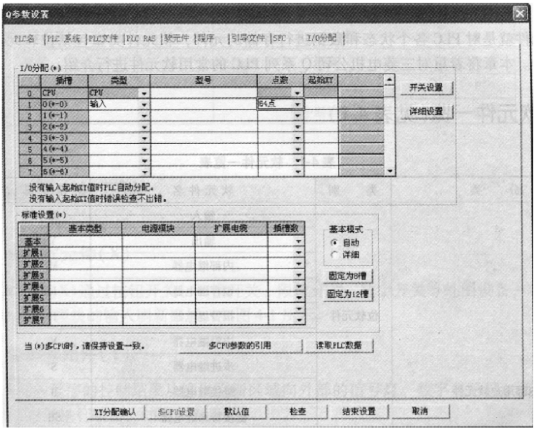


图 7-204　地址分配窗口

3. 远程站 I/O 地址号

MELSEC NET/H 远程 I/O 网络、CC - Link 等远程 I/O 系统中，可对远

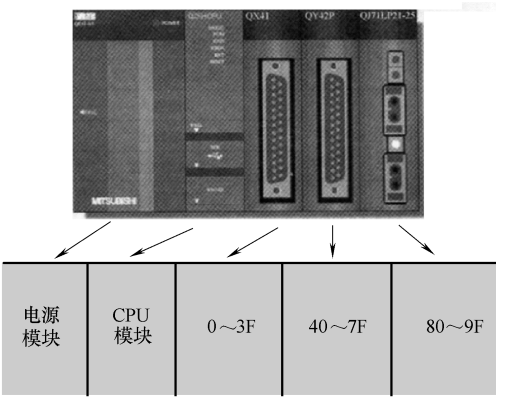


图 7-205　手动分配后的 I/O 地址

程站 I/O 模块、智能模块 CPU 模块软元件 X、Y 进行分配与控制，还可对 MELSEC NET/H 模块的连接 I/O（LX、LY）刷新对象用 X、Y。

（1）远程站可用的 CPU 模块 I/O 地址号　CPU 模块 X、Y 用于远程站 I/O 地址号时，不能用 CPU 侧的 I/O 模块及智能模块正在使用的 I/O 地址号，只能用其后面的地址号进行分配。

（2）注意事项　CPU 模块的 X、Y 用于远程站 I/O 地址号时，要考虑 CPU 模块侧的 I/O 模块及智能模块扩展；不可重复设定 MELSEC NET/H 的刷新对象的 I/O 地址号及 CC-Link 远程 I/O 系统的 I/O 地址号；I/O 软元件点数在每个 CPU 模块中会有所不同。

八、输入/输出元件

1. 内部用户软元件

按用户使用的软元件，预先设定可用的点为默认值，由 PLC 参数软元件设定能变更可使用的点数，一个软元件以 16 点为单位设定，最大 32K 点，见表 7-111。

表 7-111　内部用户软元件

类别	软元件名称	点数		使用范围	
		基本型 QCPU	高性能 QCPU	基本型 QCPU	高性能 QCPU
位软元件	输入	2 048	8 192	X0～7FF	X0～1FFF
	输出			Y0～7FF	Y0～1FFF
	内部继电器	8 192		M0～8191	M0～8191
	锁存继电器	2 048		L0～2047	L0～8191

（续）

类别	软元件名称	点数		使用范围	
		基本型 QCPU	高性能 QCPU	基本型 QCPU	高性能 QCPU
位软元件	报警器	1 024	2 048	F0 ~ 1023	F0 ~ 2047
	变址继电器			V0 ~ 1023	V0 ~ 2047
	步进继电器	2 048	8192	S0 ~ 27/块	S0 ~ 511/块
	链接继电器		2 048	B0 ~ 7FF	B0 ~ 1FFF
	链接特殊继电器	1 024	8 192	SB0 ~ 3FF	SB0 ~ 7FF
字元件	定时器	512	2 048	T0 ~ 511	T0 ~ 2047
	累计定时器	0	0	ST0 ~ 511	ST0 ~ 2047
	计数器	512	1 024	C0 ~ 511	C0 ~ 1023
	数据寄存器	11 136	12 288	D0 ~ 11135	D0 ~ 12287
	链接寄存器	2 048	8 192	W0 ~ 7FF	W0 ~ 1FFF
	链接特殊寄存器	1 024	2 048	SW0 ~ 3FF	SW0 ~ 7FF

① X、Y、M、D、S：有编号。

② 锁存继电器 L：具有停电保持功能的辅助继电器。

③ 报警器 F：检测设备异常和程序故障。

④ 变址继电器 V：记忆梯形图块的起始运算结果 ON/OFF 信息及触点。

⑤ 链接继电器 B：是 MELSEC NET/H 等网络模块的 LB 通过刷新与 CPU 模块交换数据时 CPU 模块侧的继电器，网络参数设定，未设网络参数范围内作 M 或 L。

⑥ 链接特殊继电器 SB：表示 MELSEC NET/H 等智能功能模块通信状态、异常检测，SB 的 ON/OFF 在数据连接时产生，监视 SB 可监测数据连接通信、异常状态等。

⑦ 定时器 T：有低速和高速定时器两种；同一元件可设定为低速或高速，如 OUT T0为低速定时器，1 ~ 1000ms；OUTH T0为高速定时器，0.1 ~ 100ms。

⑧ 计数器 C：一种在顺序控制程序中对输入上升沿次数计数，一种对中断因子发生次数计数。

⑨ 连接寄存器 W：将 MELSEC NET/H 等模块的连接寄存器 LW 通过刷新与 CPU 模块交换数据 CPU 模块侧存储器；1 个连接寄存器以 16 位为单位读和写，最高位为符号位；W 中存储数据保留到存储其他数据为止。

⑩ 连接特殊寄存器 SW：存储 MELSEC NET/H 等智能模块通信状态、异常内容的寄存器，对 SW 监视，可检查异常及其原因等。

2. 内部系统软元件

PLC 内部系统软元件见表 7-112。

（1）功能软元件　功能软元件是带变量子函数调用源与带变量子程序之间进行了数据写/读的软元件。子程序中用功能软元件决定调用源中用的软元件，即使使用同一子程序也无须考虑其他子程序的调用源。其包括功能输入软元件 FX、功能输出软元件 FY、功能寄存器 FD、特殊继电器 SW、特殊寄存器 SD。

表 7-112　内部系统软元件

类别	软元件名	点数		使用范围	
		基本型 QCPU	高性能 QCPU	基本型 QCPU	高性能型 QCPU
位软元件	FX	16	5	FX0 ~ F	FX0 ~ F
	FY			FY0 ~ F	FY0 ~ F
	SW	1 000	2 048	SW0 ~ 999	SW0 ~ 2047
字软元件	FD	5	5	FD0 ~ 4	FD0 ~ 4
	SD	1 000	2 048	SD0 ~ 999	SD0 ~ 2047

① FX：将 ON/OFF 传至子程序；子程序中接收通过带变量的子程序调用指令指定的位数据，并用于运算；CPU 模块的位数据指定软元件全可使用。

② FY：子程序运算结果 ON/OFF 传至子程序调用源；运算结果被存储到带变量的子程序指定软元件中；可使用除 CPU 模块输入（X，DX）外的位数据指定软元件。

③ FD：子程序调用源与子程序之间进行写/读；功能寄存器输入/输出条件由 CPU 模块自动判断，如子程序中源数据，将变为子程序输入数据；如子程序中目标数据，将变为来自子程序的输出数据；1 个 FD 最多占 4 个字，但使用字数因子程序指令而异。

（2）特殊继电器 SM　特殊继电器的分类见表 7-113。

表 7-113　特殊继电器的分类

分类	特殊继电器	CPU			
		基本型 QCPU	高性能型 QCPU	过程 CPU	冗余 CPU
检测信息	SM0 ~ 99	○			
	SM0 ~ 199				
串行口通信功能	SM100 ~ 129	○	×		
系统信息	SM200 ~ 399	○			
系统时钟/系统计数器	SM400 ~ 499	○			
扫描信息	SM500 ~ 599	○			
存储卡	SM600 ~ 699	○			

（续）

分类	特殊继电器	CPU			
		基本型 QCPU	高性能型 QCPU	过程 CPU	冗余 CPU
指令相关	SM700～799	○			
调试	SM800～899	×	○		
锁存区域	SM900～999	×	○		
A→Q/QnA 转换对应	SM1 000～1 299	×	○		×
过程控制指令	SM1 500～1 509	×		○	○
冗余系统（自系统 CPU 信息）	SM1 510～1 599	×			○
冗余系统（他系统 CPU 信息）	SM1 600～1 699	×			○
冗余系统（热备信息）	SM1 700～1 779	×			○
冗余电源模块信息	SM1 780～1 799	×			○

注：○能用；×不能用。

（3）特殊寄存器 SD　特殊寄存器的分类见表 7-114。

表 7-114　特殊寄存器的分类

分类	特殊继电器	CPU			
		基本型 QCPU	高性能型 QCPU	过程 CPU	冗余 CPU
检测信息	SD0～99	○			
	SD0～199				
串行口通信功能	SD100～129	○	×		
熔丝断裂模块	SD130～149	○	×		
I/O 模块核对	SD150～199	○	×		
锁存区域	SD900～929	×	○		
系统信息	SD200～399	○			
系统时钟/系统计数器	SD400～499	○			
扫描信息	SD500～599	○			
存储卡	SD600～699	○			
指令开关	SD700～799	○			
调试	SD800～899	×	○		
冗余功能（停电保持信息）	SD952	×			○
A→Q/QnA 转换对应	SD1 000～1 299	×	○	○	×
熔丝断裂模块	SD1 300～1 399	×	○		
I/O 模块核对	SD1 400～1 499	×	○		

（续）

分类	特殊继电器	CPU			
		基本型 QCPU	高性能型 QCPU	过程 CPU	冗余 CPU
过程控制指令	SD1 500 ~ 1 509	×		○	○
冗余系统（自系统 CPU 信息）	SD1 510 ~ 1 599	×			○
冗余系统（他系统 CPU 信息）	SD1 600 ~ 1 699	×			○
冗余系统（热备信息）	SD1 700 ~ 1 779	×			○
冗余电源模块信息	SD1 780 ~ 1 799	×			○

注：○—能用；×—不能用。

3. 特殊功能软元件

特殊功能软元件见表 7-115。

（1）链接直接软元件 J□ \ □　通过网络 No. ＊与软元件编号完成指定，见图 7-206。直接存取 MELSEC NET/H 网络模块内链接软元件，CPU 模块 MELSEC NET/H 网络系统的网络模块之间刷新，由顺控程序 END 处理。如是网络 No. 2 的链接寄存器 10（W0），将变为“J2 \ W10”，见图 7-207。如是位软元件 X、Y、B、SB，进行位指定，如 J1 \ K1X0，J10 \ K4B0。能指定网络模块全部链接软元件，网络刷新参数设定范围外链接软元件也能指定。

表 7-115　特殊功能软元件

分类	类别	软元件名	点数		使用范围	
			基本型 QCPU	高性能型 QCPU	基本型 QCPU	高性能型 QCPU
链接直接软元件	位软元件	链接输入	8 192 点		Jn\X0 ~ 1FFF	
		链接输出			Jn\Y0 ~ 1FFF	
		链接继电器	16 384 点		Jn\B0 ~ 3FFF	
		链接特殊继电器	512 点		Jn\SB0 ~ 1FF	
	字元件	链接寄存器	16 384 点		Jn\W0 ~ 3FFF	
		特殊链接寄存器	512 点		Jn\SW0 ~ 1FF	
智能模块软元件		智能模块	65 536 点		Un\G0 ~ 65535	
变址寄存器		变址寄存器	10 点	16 点	Z0 ~ 9	Z0 ~ 15
文件寄存器		文件寄存器	0 点	0 点	—	—
			64k 点		R0 ~ 32 767 ZR0 ~ 65 535	

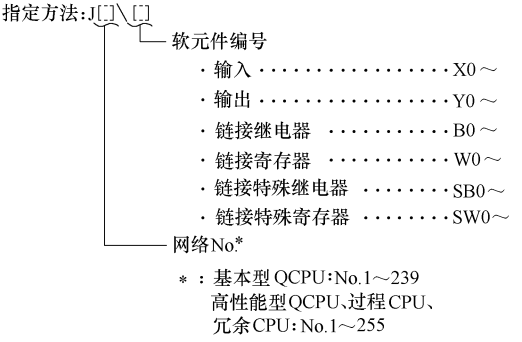


图 7-206　链接直接软元件的指定方法

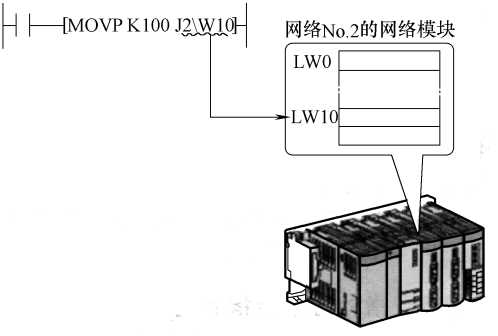


图 7-207　链接直接软元件的使用示例

（2）智能模块软元件 U□\G□　通过 CPU 模块对主基板及扩展基板安装的智能模块、特殊模块 BFM 直接存取的软元件。通过智能模块、特殊模块 I/O 地址号与 BFM 地址指定，见图 7-208。

（3）变址寄存器 Z　变址寄存器应用示例见图 7-209。16 位，最高位符号位；（Zn + 1，Zn）组成 32 位。CPU 模块中，扫描/低速执行型程序与中断/恒定周期执行型程序切换时，要对变址寄存器中的内容和块号进行保护与返回。

（4）文件寄存器 R　数据寄存器扩展用软元件。16 位，（Rn + 1，Rn）构成 32 位。由 CPU 模块内置电池保持。PLC 电源为 OFF 或 CPU 模块复位 R 内容仍保持，锁存清除也不会进行初始化。内容初始化时，用程序或 GX

Developer 进行数据清除操作。

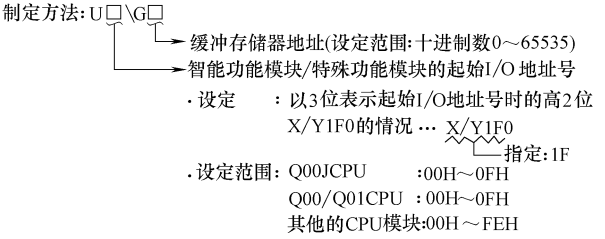


图 7-208　智能功能模块软元件的指定方法

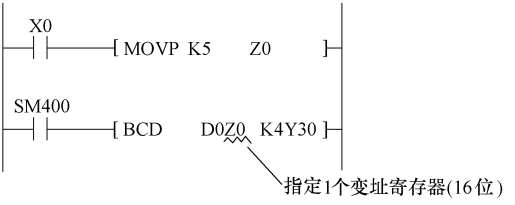


图 7-209　变址寄存器应用示例

4. 指针与嵌套

（1）指针 P　跳转 CJ、SCJ，子程序调用指令 CALL、CALLP 的目标标识，基本型 QCPU 指针为 P0 ~ P299，高性能型 QCPU、过程 CPU、冗余 CPU 指针为 P0 ~ P4095，见图 7-210。

（2）中断指针 I　全部程序中使用。基本型可用中断指针 128 点，高性能型 QCPU、过程 CPU、冗余 CPU 可用中断指针 256 点。中断程序中需要使用中断指针，不同中断程序有不同的中断因子。如智能模块中断因子为 I0 ~ I15；出错中断因子为 I16 ~ I27；内部定时器中断因子为 I28 ~ I31、I49；中断模块中断因子为 I32 ~ I41；顺控启动模块中断因子为 I50 ~ I55，见图 7-211。

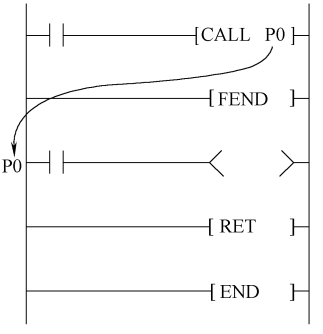


图 7-210　使用了指针的程序

（3）嵌套结构 N　主控指令 DC、DCR 中使用，将动作条件以嵌套结构编程的软元件 N0 ~ N14 指定。

（4）其他软元件　SFC 块软元件 BL，检查 SFC 程序指定块是否有效；

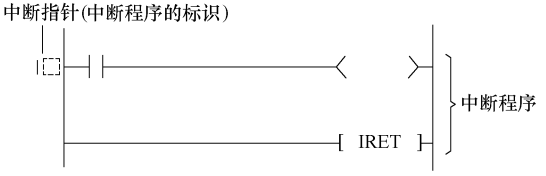


图 7-211　中断指针的使用

SFC 转移软元件 TR，检查 SFC 程序指定块的指定转移条件为强制转移；网络 No. 指定软元件 J，用数据链接指令指定网络 No. 时的使用方法，见图 7-212；I/O 号指定软元件 U，智能模块专用指令指定 I/O 号时的使用方法，见图 7-213；宏指令变量软元件 VD，在宏指令登录梯形图中使用的软元件。

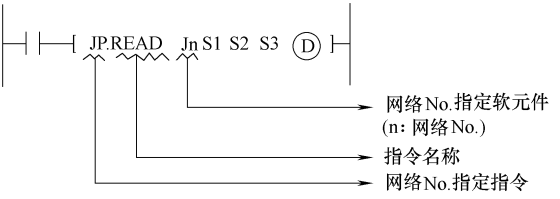


图 7-212　网络 No. 指定软元件用法

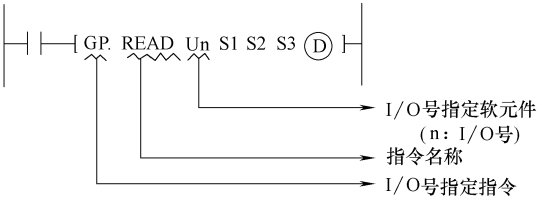


图 7-213　I/O 号指定软元件用法

九、指令系统

1. 编程语言

PLC 编程语言有指令表、梯形图、功能块图、SFC、结构化文本。其中功能块图用于规模大、复杂系统，编程、组态和调试方便，适于大中型 PLC 和 DCS 编程和组态。某程序梯形图示例见图 7-214，图 7-215 是钻孔机 SFC 程序示例。

2. 程序结构

程序结构一般由用顺控、基本指令、应用指令等编写，从步序 0 到

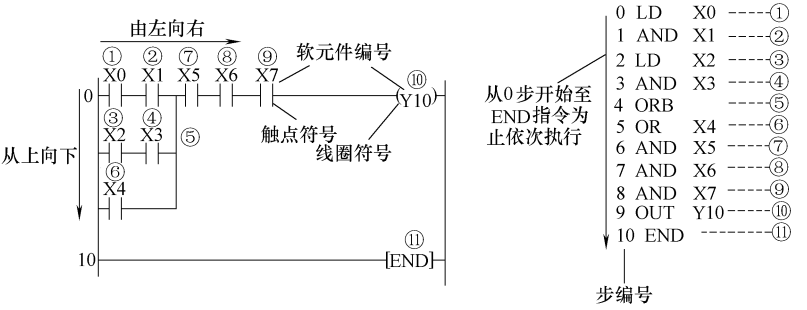


图 7-214　梯形图示例

END/FEND 顺序执行。其中，顺控程序包括主程序、子程序、中断程序和宏指令程序，见图 7-216。图 7-217 所示主程序为从步序 0 到 END/FEND，当条件满足时从序 0 步→END/FEND 止。图 7-218 所示子程序从 P0 开始到 RET，子程序只在接到从主程序中调用 CALL　P□□、FCALL　P□□等时执行。图 7-219 所示中断程序是当中断条件成立时，暂时中断主程序和子程序，执行 I□□→IRET。该程序响应不受顺控程序扫描影响。根据 I□□，中断因子会有不同。如出现中断因子，执行与因子相对应指针号的中断程序，见图 7-220，中断程序可响应中断请求，含中断模块 QI60/A1SI61/AI61、功能模块或网络模块、定时器和出错发出的中断请求等。

3. 存储器

（1）基本型 QCPU

1）程序内存。存储基本型 QCPU 运算的程序存储器，存储在标准 ROM 内的程序从程序内存中读取并运算。存储参数、智能模块参数、程序、元件注释、软元件初始值和用户设定的系统区域。

2）标准 ROM。在基本型 QCPU 中为引导运行的存储器，在没有备份时保存程序与参数等数据使用。存储在标准 ROM 中的程序，从程序内存中读出并运算。存储数据有参数、智能模块的参数、程序、软元件注释和软元件初始值。

3）标准 RAM。文件寄存器用的存储器，仅 Q_{00J} 系列 PLC 的 CPU 没有标准 RAM，可与数据寄存器一样进行高速存取，是文件寄存器的专用存储单元。

4）CPU 共享存储器。多 CPU 系统各个 CPU 模块间数据写/读存储器。基本型 QCPU 存储器构成，见图 7-221。

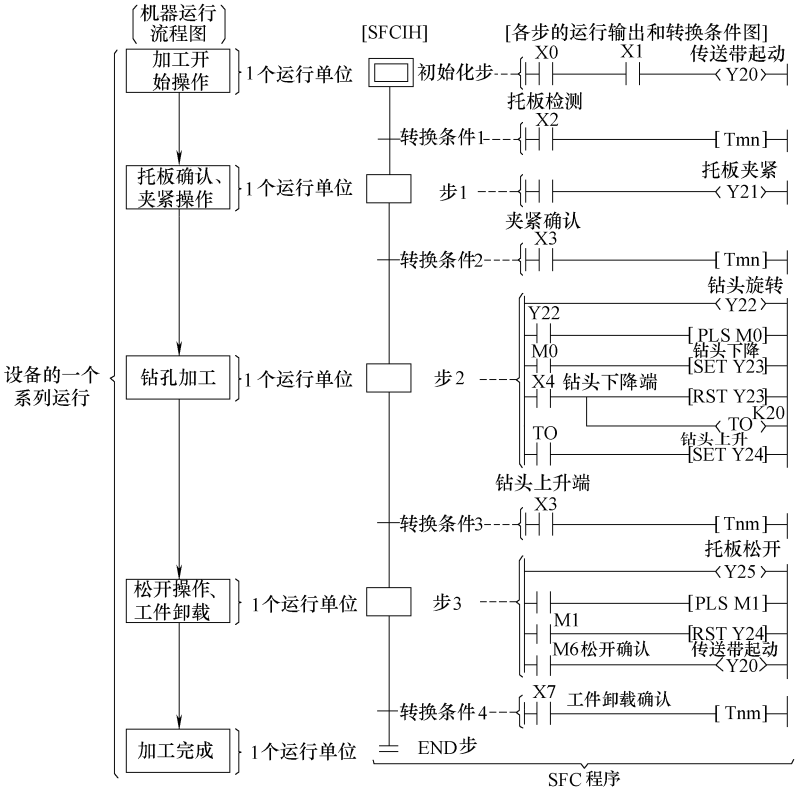


图 7-215　SFC 程序示例

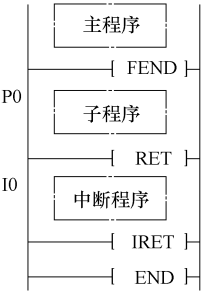


图 7-216　顺控程序分类

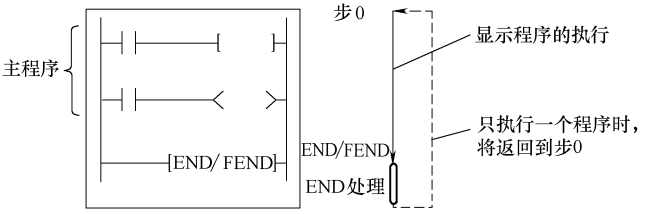


图 7-217　主程序

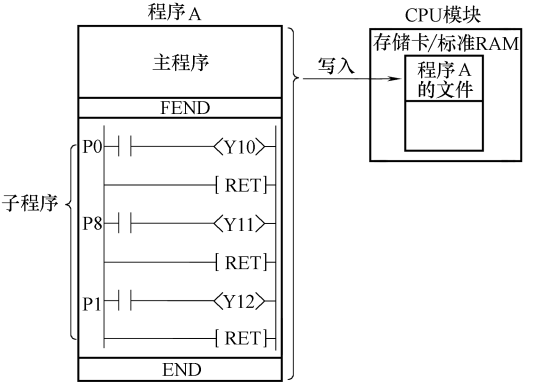


图 7-218　子程序

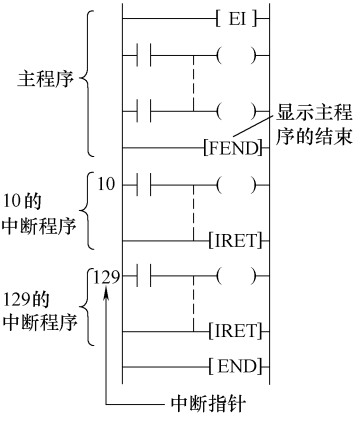


图 7-219　中断程序

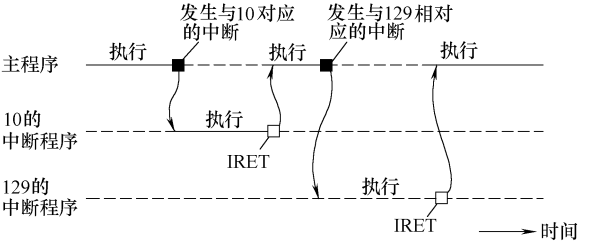


图 7-220　中断程序的执行时机

（2）高性能 QCPU、过程 CPU、冗余 CPU 存储器如图 7-222 所示，它们增加对存储卡的支持，且标准 RAM 可存储局部软元件。存储卡在高性能型、过程型、冗余 CPU 的内部存储器扩展时使用。存储卡可存储的数据类型见表 7-116。

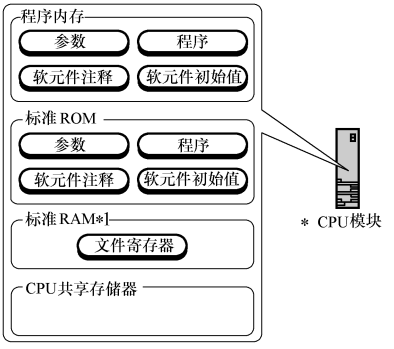


图 7-221　基本型 QCPU 存储器的构成

4. Q 系列指令

Q 系列 PLC 常用指令见表 7-117 ~ 表 7-140。

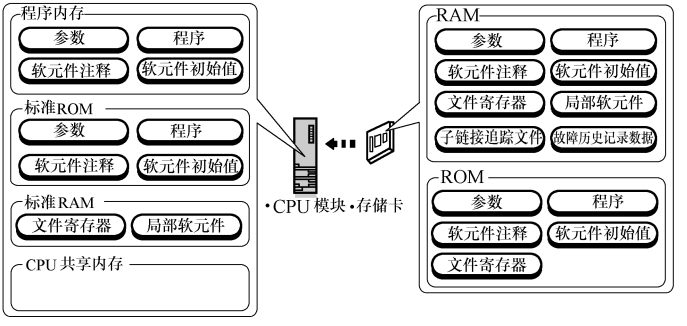


图 7-222　高性能 QCPU、过程 CPU 和冗余 CPU 存储器

表 7-116　存储卡可存储的数据类型

数据名	存储卡(RAM)	存储卡(ROM)	
	SRAM 卡	Flash 卡	ATA 卡
参数	○	○	○
智能功能模块的参数	○	○	○
程序	○	○	○
软元件注释	○	○	○
软元件初始值	○	○	○
文件寄存器	○	○	×
局部软元件	○	×	×
子链接追踪文件	○	×	×
故障历史记录数据	○	×	×
PLC 用户数据	×	×	○
用户设定的系统区域	×	×	×

表 7-117　算术运算指令

指令	助记符	符号	说明
BIN 加法	+、+P、D+、D+P	+　S1 S2 D	(S1)+(S2)→(D)
BIN 减法	−、−P、D−、D−P	−　S1 S2 D	(S1)−(S2)→(D)
BIN 乘法	*、*P、D*、D*P	*　S1 S2 D	(S1)×(S2)→(D+1,D)
BIN 除法	/、/P、D/、D/P	S1 S2 D	(S1)/(S2)→商(D),余数(D+1)
BCD 加法	B+、B+P、DB+、DB+P	B+　S1 S2 D	(S1)+(S2)→(D)
BCD 减法	B−、B−P、DB−、DB−P	B−　S1 S2 D	(S1)−(S2)→(D)
BCD 乘法	B*、B*P、DB*、DB*P	B*　S1 S2 D	(S1)×(S2)→(D+1,D)
BCD 除法	B/、B/P、DB/、DB/P	B/　S1 S2 D	(S1)/(S2)→商(D),余数(D+1)
浮点数加法	E+、E+P、ED+、ED+P	E+　S1 S2 D	32/64 位浮点实数加
浮点数减法	E−、E−P、ED−、ED−P	E−　S1 S2 D	32/64 位浮点实数减
浮点数乘法	E*、E*P、ED*、ED*P	E*　S1 S2 D	32/64 位浮点实数乘
浮点数除法	E/、E/P、ED/、ED/P	E/　S1 S2 D	32/64 位浮点实数除

（续）

指令	助记符	符号	说明
BIN 块加运算	BK + (P)	BK+ S1 S2 D *n*	块数据加
BIN 块减运算	BK – (P)	BK– S1 S2 D *n*	块数据减
字符串数据合并	$ + (P)	S+ S1 S2 D	字符串数据合并
BIN 数递增	INC(P)、DINC(P)	INC D	16/32 位数加 1
BIN 数递减	DEC(P)、DDEC(P)	DEC D	16/32 位数减 1

表 7-118　数据转换指令

名称	助记符	符号	说明
BCD 转换	BCD(P)、DBCD(P)	BCD S D	(S) —BCD转换→ (D) BIN(0～9999)
BIN 转换	BIN(P)、DBIN(P)	BIN S D	(S) —BIN转换→ (D) BCD(0～9999)
从 BIN 转换成浮点数	FLT(P)、DFLT(P)、FLTD(P)、DFLTD(P)	FLT S D	(S) —转换成实数→ (D+1,D) BIN(–32768～32767)
从浮点数转换成 BIN	INT(P)、DINT(P)、INTD(P)、DINTD(P)	INT S D	(S+1.S) —转换成BIN→ (D) 实数(–32768～32767)
BIN16 位和 BIN32 位的转换	DBL(P)	DBL S D	(S) —转换→ (D+1,D) BIN(–32768～32767)
	WORD(P)	WORD S D	(S+1,S) —转换→ (D) BIN(–32768～32767)
BIN 转换成格雷码	GRY(P)、DGRY(P)	GRY S D	(S) —转换成格雷码→ (D) BIN(–32768～32767)
格雷码转换成 BIN	GBIN(P)、DGBIN(P)	GBIN S D	(S) —转换成BIN数据→ (D) 格雷码(–32768～32767)
符号取反	NEG(P)、DNEG(P)、ENEG、EDNEG(P)	NEG D	$\overline{(D)}$ → (D) BIN 数据
块转换	BKBCD(P)	BKBCD S D *n*	块 BIN16 位数→BCD4 位数
	BKBIN(P)	BKBIN S D *n*	BCD4 位数→BIN16 位数

（续）

名称	助记符	符号	说明
浮点数转化指令	ECON(P)	ECON S D	转换成双精度 (S+1,S) → (D+3,D+2,D+1,D)；32位浮点型实数
	EDCON(P)	EDCON S D	转换成单精度 (S+3,S+2,S+1,S) → (D+1, D)；64位浮点型实数

表 7-119　数据传送指令

名称	助记符	符号	说明
16位/32位数据传送	MOV(P)、DMOV(P)	MOV S D	(S) → (D)
浮点十进制数据传送	EMOV(P)	EMOV S D	(S+1,S) → (D+1,D)；实型数据
字符串数据传送	$MOV(P)	SMOV S D	字符串数据传送
16位负数据传送	CML(P)、DCML(P)	CML S D	$\overline{(S+1,S)}$ → (D+1,D)
块传送	BMOV(P)	BMOV S D *n*	(S) → (D)，*n*
同一数据块的多路传送	FMOV(P)	FMOV S D *n*	(S) → (D)，*n*
16位数据交换	XCH(P)、DXCH(P)	XCH D1 D2	(D1) ↔ (D2)
块数据交换	BXCH(P)	BXCH S D *n*	(S) ↔ (D)，*n*
高字节和低字节的交换	SWAP(P)	SWAP D	(S) 8位 8位 b15到b8 b7到b0；(D) 8位 8位 b15到b8 b7到b0
跳转	CJ	CJ P*n*	输入条件满足时跳至 Pn
	SCJ	SCJ P*n*	输入条件满足后的下一个扫描周期跳至 Pn
	JMP	JMP P*n*	无条件地跳转至 Pn
	GOEND	GOEND	输入条件满足时，跳转 END

表 7-120　程序控制指令

名称	助记符	符号	说明
使中断无效	DI	DI	禁止中断程序运行
使中断有效	EI	EI	允许中断程序执行
中断无效/有效设置	IMASK	IMASK S	对每个中断程序禁止或允许中断
返回	IRET	IRET	中断程序之后返回到顺序程序

表 7-121　I/O 刷新指令

名称	助记符	符号	说明
I/O 刷新	RFS(P)	RFS S *n*	在扫描过程中刷新相关的 I/O 区域

表 7-122　方便控制指令

名称	助记符	符号	说明
递增/递减计数器	UDCNT1/UDCNT2	UDCNT1 S D *n*	(S)+d 增减 增减 增减 (S)+t C*n* 数修复 0 1 2 3 4 5 6 7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -2 -4 0 C*n* 触点
示教定时器	TTMR	TTMR D *n*	(TTMR 为 ON 的时间) X*n* → (D) *n*=0 1，*n*=1:10*n*，*n*=2:100
特殊定时器	STMR	STMR S *n* D	产生延时断开定时器、脉冲定时器、闪烁定时器
就近控制	ROTC	ROTC S *n*1 *n*2 D	旋转台就近控制
斜坡信号	RAMP	RAMP *n*1 *n*2 D1 *n*3 D2	两个数值之间按斜率产生数值
脉冲密度	SPD	SPD S *n* D	设定时间内检测脉冲数量
输出	PLSY	PLSY *n*1 *n*2 D	(*n*1) Hz → (D) 输出 *n*2 次
脉宽调制输出	PWM	PWM *n*1 *n*2 D	*n*1 *n*2 (D)
矩阵输入	MTR	MTR S D1 D2 *n*	读 16 × *n* 的数据，存储到指定软元件中

表 7-123　逻辑操作指令

名称	助记符	符号	说明
逻辑与	WAND(P)、DAND(P)	WAND S1 S2 D	(S1) ∧ (S2) → (D)
	BKAND(P)	BKAND S1 S2 D n	(S1) (S2) (D) n
逻辑或	WOR(P)、DOR(P)	WOR S1 S2 D	(S1) ∨ (S2) → (D)
	BKOR(P)	BKOR S1 S2 D n	(S1) (S2) (D) n
逻辑异或	WXOR(P)、DXOR(P)	WXOR S1 S2 D	(S1) ⊻ (S2) → (D)
	BKXOR(P)	BKXOR S1 S2 D n	(S1) (S2) (D) n
逻辑异或非	WXNR(P)、DXNR(P)	WXNR S1 S2 D	$\overline{(S1) \veebar (S2)}$ → (D)
	BKXNR(P)	BKXNR S1 S2 D n	(S1) (S2) (D) n

表 7-124　循环指令

名称	助记符	符号	说明
向右循环移位	ROR(P)、DROR(P)	ROR D n	b15 (D) b0 SM700 向右旋转移动n位 进位标志
	RCR(P)、DRCR(P)	RCR D n	b15 (D) b0 SM700 向右旋转移动n位 进位标志
向左循环移位	ROL(P)、DROL(P)	ROL D n	SM700 b15 (D) b0 进位标志 向左旋转移动n位
	RCL(P)、DRCL(P)	RCL D n	SM700 b15 (D) b0 进位标志 向左旋转移动n位

表 7-125　移位指令

名称	助记符	符号	说明
n 位左移/右移	SFR(P)、SFL(P)	SFR D n	b15 b0 b2 进位标志 b15 b0 SM700 0~9

（续）

名称	助记符	符号	说明
位左移/右移	BSFR(P)、BSFL(P)	BSFR D n	n (D) 进位标志 SM700 0
字左移/右移	DSFR(P)、DSFL(P)	DSFR D n	n (D) 0

表 7-126　位处理指令

名称	助记符	符号	说明
位置位	BSET(P)	BSET D n	(D) b15 bn b0 1
位复位	BRST(P)	BRST D n	(D) b15 bn b0 0
位测试	TEST(P)、DTEST(P)	TEST S1 S2 D	(S1) b15 到 b0 (D) 由(S2)指定的位
位软元件批量复位	BKRST(P)	BKRST S n	(S) ON OFF ON ON 复位 (S) OFF OFF OFF OFF n

表 7-127　数据处理指令

名称	助记符	符号	说明
数据查找	SER(P)、DSER(P)	SER S1 S2 D n	(S1) (S2) n (D)：匹配号 (D+1)：装配装置
位检测	SUM(P)、DSUM(P)	SUM S D	b15 (S) b0 (D)：1s数
解码	DECO(P)	DECD S D n	8～25编码 (S) 编码 (D) n 2″位

（续）

名称	助记符	符号	说明
编码	ENCO(P)	ENCO S D *n*	256到8编码 (S) 2″位 编码 (D) *n*
7 段解码	SEG(P)	SEG S D	b3 到 b0 (S) (D) TSEG
分解和链接	DIS(P)	DIS S D *n*	16 位数据的 4 位分组
	UNI(P)	UNI S D *n*	16 位数据的 4 位链接
	NDIS(P)、NUMI(P)	NDIS S1 D S2	任意数据的分离或链接
	WTOB(P)、BTOW(P)	WTOB S D *n*	以字节为单位的数据分离和链接
搜索	MAX(P)、DMAX(P)	MAX S D *n*	16 位和 32 位数据最大值查找
	MIN(P)、DMIN(P)	MIN S D *n*	16 位和 32 位数据最小值查找
排序	SORT、DSORT	SORT S1 *n* S2 D1 D	16 位和 32 位数据排序
总值计算	WSUM(P)、DSUM(P)	WSUM S D *n*	16 位和 32 位数据的总和计算

表 7-128　结构体创建指令

名称	助记符	符号	说明
循环	FOR、NEXT	FOR *n*	FOR 到 NEXT 循环
	BREAK(P)	BREAK D P*n*	FOR 到 NEXT 循环强制结束
子程序调用	CALL(P)	CALL P*n* CALL P*n* S1～S*n*	子程序调用
	RET	RET	从子程序返回
	FCALL(P)	FCALL P*n* FCALL P*n* S1～S*n*	子程序输出 OFF 调用

（续）

名称	助记符	符号	说明
子程序调用	ECALL(P)	ECALL * Pn ECALL * Pn S1～Sn	程序文件之间的子程序调用
	EFCALL(P)	EFCALL * Pn EFCALL * Pn S1～Sn	程序文件之间的子程序输出 OFF 调用
	XCALL	XCALL Pn S1～Sn	子程序调用
	COM	COM	刷新指令
固定变址修饰	IX、IXEND	IX S 软元件修改梯形图 IXEND	整个梯形图的变址修饰
	IXDEV、IXSET	IXSET S D 修饰值的指定	整个梯形图变址修饰中修饰值的指定

表 7-129　数据表操作指令

名称	助记符	符号	说明
数据表处理	FIFW(P)	FIFW S D	(S) (D) 指针 指针+1 指针+1 软元件
	FIFR(P)	FIFR S D	(S) 指针 指针+1 (D)
	FPOP(P)	FPOP S D	(S) 指针 指针+1 (D) 指针+1软元件
	FDEL(P)、FINS(P)	FDEL S D n	(S) 指针 指针+1 (D) 由n指定

表 7-130　缓冲存储器访问指令

名称	助记符	符号	说明
数据读取	FROM(P)、DFRO(P)	FROM n1 n2 D n3	从智能模块中读 1 字/2 字数据
数据写入	TO(P)、DTO(P)	TO n1 n1 S n3	将 1 字/2 字数据写入智能功能模块

表 7-131　显示指令

名称	助记符	符号	说明
ASCII 打印	PR	PR S D	ASCII 码打印
打印注释指令	PRC	PRC S D	打印注释指令
ASCII 显示	LED	LEDC S	ASCII 码 LED 显示
注释显示	LEDC	LEDC S	注释的 LED 显示
复位	LEDR	LEDR	错误显示和报警器复位

表 7-132　调试和故障诊断指令

名称	助记符	符号	说明
检查	CHKST、CHK	CHKST	特殊格式故障检测
	CHKCIR、CHKEND	CHKCIR	改变 CHK 指令的检测格式
状态闭锁	SLT、SLTR	SLT	设置和复位状态锁存
采样跟踪	STRA、STRAR	STRA	设置和复位采样跟踪
程序跟踪	PTRA、PTRAR、PTRAEXE(P)	PTRA	程序跟踪执行、置位和复位

表 7-133　字符串处理指令

名称	助记符	符号	说明
BIN 到十进制 ASCII	BINDA(P)、DBINDA(P)	BINDA S D	BIN16 位或 32 位数→十进制 ASCII 码
BIN 到十六进制 ASCII	BINHA(P)、DBINHA(P)	BINHA S D	BIN16 位或 32 位数→十六进制 ASCII 码
BCD 到十进制 ASCII	BCDDA(P)、DBCDDA(P)	BCDDA S D	BCD4 位和 8 位数→十进制 ASCII 码
十进制 ASCII 到 BIN	DABIN(P)、DDABIN(P)	DABIN S D	十进制 ASCII 码→BIN16 位和 32 位数据

（续）

名称	助记符	符号	说明
十六进制 ASCII 到 BIN	HABIN(P)、DHABIN(P)	HABIN S D	十六进制 ASCII 码→BIN16 位和 32 位数
十进制 ASCII 到 BCD	DABCD(P)、DDABCD(P)	DABCD S D	十进制 ASCII 码→BCD4 位和 8 位数
软元件注释读操作	COMRD(P)	COMRD S D	读软元件注释数据
字符串长度检验	LEN(P)	LEN S D	字符串长度检测
BIN 到十进制字符串	STR(P)、DSTR(P)	STR S1 S2 D	BIN16 位或 32 位→字符串
十进制字符串到 BIN	VAL(P)、DVAL(P)	VAL S D1 D2	字符串→BIN16 位或 32 位数
浮点十进制数到字符串	ESTR(P)	ESTR S1 S2 D	浮点数→字符串数据
字符串到浮点十进制数	EVAL(P)	EVAL S D	字符串→浮点数
十六进制 BIN 到 ASCII	ASC(P)	ASC S D *n*	十六进制 BIN→ASCII 码
ASCII 到十六进制 BIN	HEX(P)	HEX S D *n*	ASCII 码→十六进制 BIN
字符串处理	RIGHT(P)、LEFT(P)	RIGHT S D *n*	字符串的右边或左边提取数
	MIDR(P)、MIDW(P)	MIDR S1 D S2	字符串的任意选择和替换
	INSTR(P)	INSTR S1 S2 D *n*	字符串查找
浮点十进制数到 BCD	EMOD(P)	EMOD S1 S2 D	浮点数到 BCD 的分解
BCD 到浮点十进制数	EREXP(P)	EREXP S S2 D	从 BCD 格式到浮点数
在角度和弧度间的转换	RAD(P)、RADD(P)	RAD S D	(S+1,S)→ (D+1,D) 角度转成弧度
	DEG(P)、DEGD(P)	DEG S D	(S+1,S)→(D+1,D) 弧度转成角度
平方根	SQR(P)、SQRD(P)	SQR S D	$\sqrt{(S+1,S)}$→(D+1,D)
指数操作	EXP(P)、EXPD(P)	EXP S D	$e^{(S+1,S)}$→(D+1,D)

（续）

名称	助记符	符号	说明
自然对数	LOG(P)、LOGD(P)	LOG S D	$Log_e(S+1,S)\rightarrow(D+1,D)$
随机数序列的更新	RND(P)、SRND(P)	RND D	随机数产生和系列更新
方根	BSQR(P)、BDSQR(P)	BSQR S D	$\sqrt{(S)}\longrightarrow$ (D)+0 整数部分；+1 小数部分
三角函数功能	BSIN(P)、BCOS(P)、BTAN(P)、BASIN(P)、BACOS(P)、BATAN(P)	BSIN S D	sin(S)⟶(D)+0 正负号；+1 整数部分；+2 小数部分

表 7-134　数据控制指令

名称	助记符	符号	说明
最高和最低限控制	LIMIT(P)、DLIMIT(P)	LIMIT S1 S2 S3 D	BIN16 位和 32 位数的高低限控制
死区控制	BAND(P)、DBAND(P)	BAND S1 S2 S3 D	BIN16 位和 32 位死区控制
区域控制	ZONE(P)、DZONE(P)	ZONE S1 S2 S3 D	BIN16 位和 32 位数据的区域控制
块号码标定	RSET(P)	RSET S	将扩展文件寄存器块的号码转换成指定号码
文件设定	QDRSET(P)	QDRSET 文件设定	将文件名用作文件寄存器
	QCDSET(P)	QCDSET 文件设定	将文件名用作注释文件

表 7-135　时钟指令

名称	助记符	符号	说明
读/写时钟数据	DATERD(P)	DATERD D	时钟设备元件⟶(D+)+0 年；+1 月；+2 日；+3 小时；+4 分；+5 秒；+6 星期
	DATEWR(P)	DATEWR S	(D+)+1 年；+2 月；+3 日；+4 小时；+5 分；+6 秒；+7 星期 (时钟设备元件)

（续）

名称	助记符	符号	说明
时钟数据的加/减	DATE + (P)	DATE+ S1 S2 D	(S1) 小时 分钟 秒 → (S2) 小时 分钟 秒 → (D) 小时 分钟 秒
	DATE - (P)	DATE- S1 S2 D	(S1) 小时 分钟 秒 → (S2) 小时 分钟 秒 → (D) 小时 分钟 秒
时钟数据传送	SECOND(P)	SECOND S D	(S) 小时 分钟 秒 → (D) 秒(低位) 秒(高位)
	HOUR(P)	HOUR S D	(S) 秒(低位) 秒(高位) → (D) 小时 分钟 秒

表 7-136　外围软元件指令

名称	助记符	符号	说明
输入/输出到外围软元件	MSG	MSG S	将信息显示到外围设备
	PKEY	PKEY D	外围设备的键盘输入

表 7-137　程序控制指令

名称	助记符	符号	说明
程序控制指令	PSTOP(P)	PSTOP 文件名称	将程序置为待机状态
	POFF(P)	POFF 文件名称	将程序置 OFF,并设待机型程序
	PSCAN(P)	PSCAN 文件名称	将指定程序登记为扫描执行类型
	PLOW(P)	PLOW 文件名称	将指定程序登记为低速执行类型
	PCHK(P)	PCHK 文件名称	程序执行状态检查

表 7-138　其他指令

名称	助记符	符号	说明
WDT 复位	WDT(P)	WDT	复位看门狗定时器
定时时钟	DUTY	DUTY n1 n2 D	(D) n1扫描 n2扫描 SM420～SM424、SM430～SM434
时间检查	TIMCHK	TIMCHK S1 S2 D	时间检查指令
以 1B 为单位直接读/写	ZRRDB(P)	ZRRDB n D	0 低8位 1 高8位 ZR0；2 低8位 3 高8位 ZR1；n 8位 → (D)
	ZRWRB(P)	ZRWRB n S	(S) 0 低8位 1 高8位 ZR0；2 低8位 3 高8位 ZR1；n 8位
	ADRSET(P)	ADRSET S D	(S) → (D)；表示指定设备元件的地址；设备元件名称
来自键盘的数字键输入	KEY	KEY S n D1 D2	键盘的数字键输入
变址寄存器的批量保存	ZPUSH(P)、POP(P)	ZPUSH D	批量保存或变址寄存器的恢复
对 E^2PROM 文件寄存器的批量写操作	EROMWR(P)	EROMWR S D1 n D2	对 E^2PROM 文件寄存器的批量写入操作

表 7-139　数据链接指令

名称	助记符	符号	说明
网络刷新	ZCOM	S.ZCOM Jn	刷新指定的网络
QnA 链接指令	(S)READ	JP.READ Jn S1 S2 D1 D2	从其他站中读取字软元件数据
	(S)WRITE	JP.WRITE Jn S1 S2 D1 D2	写入软元件到其他站

（续）

名称	助记符	符号	说明
QnA 链接指令	SEND	JP.SEND Jn S1 S2 D	发送数据（信息）到其他站
	RECV	JP.RECV Jn S D1 D2	从其他站接收数据
	REQ	JP.REQ Jn S1 S2 D1 D2	来自其他站的瞬时请求
	ZNFR	JP.ZNFR Jn S1 S2 D	从远程 I/O 站智能模块中读数据
	ZNTO	JP.ZNTO Jn S1 S2 D	写数据到远程 I/O 站中特殊模块
A 系列兼容链接指令	ZNRD	J.ZNRD Jn n1 S D1 n2 D2	从其他站中读取软元件数据
	ZNWR	J.ZNWR Jn n1 D1 S n2 D2	写软元件数据到其他站
	RFRP	G.RFRP Un n1 D1 n2 D2	从远程 I/O 站智能模块中读数据
	RTOP	G.RTOP Un n1 S n2 D	写数据到远程 I/O 站的智能模块中
	RTREND	S.RTREAD n O	读取路由信息
	RTWRITE	S.RTWRITE n S	等级路由信息

表 7-140　冗余系统指令（用于 Q4ARCPU）

名称	助记符	符号	说明
在 CPU 启动时的操作模式设置	S. STMODE	S.STMOOE S1 S2	CPU 启动过程中的操作模式
CPU 切换过程中的操作模式设置指令	S. CGMODE	S.CGMODE S	CPU 切换时间操作模式
数据跟踪	S. TRUCK	S.TRUCK S	数据跟踪
缓冲存储器的批量刷新	S. SPREF	S.PREF S	缓冲存储器的批量刷新

第八节　可编程序控制器工程设计

一、型号选择

1. PLC 选型

PLC 种类多，各型号性能不同，价格差异很大。选型时应综合考虑，合理选择 I/O 点数。根据被控对象的模拟量、开关量等输入信号和输出数目及

类型确定，建议 1 个输入/输出元件占用 1 个点。总点数再加 15% ~20%。小型 PLC 存储容量固定。用户程序内存与许多因素有关，如 I/O 点数、控制要求、采样、运算容量、程序结构等。

2. CPU 功能与结构选择

（1）功能与任务相适应　对于开关量控制系统，控制速度要求不高时，选用小型 PLC。对于以开关量控制为主且有部分模拟量控制系统，如温度、压力、流量、液位等，可选用带 A-D 模块和带 D-A 模块的小型 PLC。对于工艺复杂、控制要求较高的系统，如 PID、位置控制、通信联网等，可选用中大型 PLC。

（2）处理速度应满足实时控制要求　PLC 采用循环扫描刷新工作方式，存在滞后，但满足一般工业控制。而对于实时性要求高的系统，滞后时间要控制在几十毫秒以内。为提高实时处理速度，可选择 CPU 运行速度快的 PLC，同时还要优化程序，合理运用分块跳转处理以及不同中断方式等；也可选用高速模块。

二、设计原则及步骤

1. 设计原则

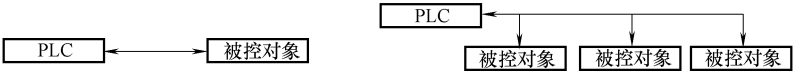
PLC 工程设计原则包括功能性原则、经济方便原则及可靠性原则。

系统规模用 I/O 总点数、模拟量通道预测，规模较大且开关量较多时，适合采用 PLC 控制；工艺复杂且需要经常调整时，用 PLC 控制比较灵活；当数据统计及计算数据多、规模较大、运算速度较高时，可考虑上位计算机与 PLC 分级控制；如对数据处理要求不高，且主要以过程控制为主时，应选用 PLC 控制。

2. 设计步骤

① 熟悉工艺过程、明确控制要求。包括点数、模拟量、控制精度、动态过程等，绘制控制流程图。

② 确定控制方案。如为单控制系统，即 1 台 PLC 控制 1 台被控设备或 1 台 PLC 控制多台被控设备，见图 7-223；如为多控制系统，每 1 个控制对象都由 1 台 PLC 控制，PLC 间信息传递内部联锁，或由上位机数据通信控制，



a) 一台控制器控制一台设备　　b) 一台控制器控制多台设备

图 7-223　单控制系统

见图 7-224；也可以选择远程 I/O 控制系统，见图 7-225。

③ 选择机型。考虑可靠、功能、环境和设备管理习惯。

④ 硬软件设计。具体安排输入、输出、电源和保护的配置，对输入、输出地址进行分配；硬件设计、程序编写和系统调试要综合考虑；编写程序时，可用基本指令、SFC、移位指令、文本语言等编写，各有特点。

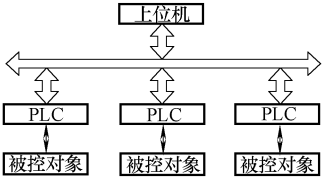


图 7-224　多控制系统

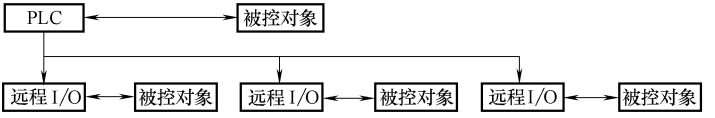


图 7-225　远程 I/O 控制系统

⑤ 总体调试。在实验室模拟各输入，检测输出是否符合控制要求；完成控制系统成套后，再进行现场调试；对硬件和软件系统联合调试和试运行，直到能够投入正常工作。

整个控制系统设计流程，见图 7-226。

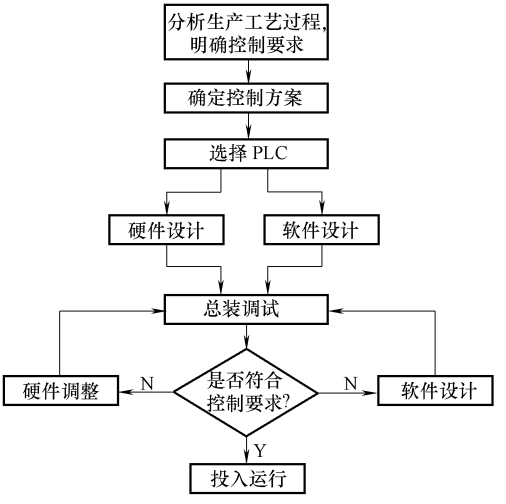


图 7-226　PLC 控制系统设计流程

三、I/O 模块选择及电路设计

小规模系统可选择一体化 PLC，基本单元及扩展单元可增加 I/O 点数；而且一体化 PLC 有 A-D、D-A 模块配套。系统较大时应选用模块化 PLC 产品。

（1）开关量输入

① 工作电压等级。根据现场检测元件与模块之间的距离，选择工作电压等级；距离远时选用较高电压模块。

② 模块密度。根据分散在各处输入信号和信号动作时间确定模块密度，集中在一处的输入信号尽可能输入到 1 块或几块模块；对 32 点或 64 点高密度输入模块，同时接通点数与输入电压和环境温度有关，一般而言同时接通点数最好不超过模块总点数的 60%。

③ 门槛电平。输入点接通电平和关断电平的差值称为门槛电平，为提高可靠性，门槛电平值越大，抗干扰能力越强，传输距离就越远。一般模块具备相应的可靠性指标。

④ 输入端漏电流控制。连接电缆和双绞线线路电容可能引起交流漏电，晶闸管截止时有漏电流；带 LED 指示开关会产生较大的漏电流；在输入端并联电阻和电容，可以降低输入阻抗；PLC 提供 DC24V 电源时，接传感器提供电源方便，但容量小，多传感器如超出 DC24V 容量时，必须采用外接电源。

（2）开关量输出

① 输出方式。继电器输出方式用于动作不频繁的交直流负载，触点容量大，有隔离作用，寿命不长，适合纯阻负载，感性负载通断频率不超过 1Hz；晶闸管和晶体管输出方式电流小，适合通断频繁的感性负载，晶闸管输出用于开关频率高、电感大、低功率因数的交流负载，晶体管输出适用于开关频率较高的直流负载。

② 输出电流。模块输出电流必须大于负载电流额定值，如负载电流较大，必须增加功率放大环节；对容性负载、热敏电阻负载，接通时有冲击电流，需有足够裕量。应注意同时接通点数电流累计值必须小于公共端所允许通过的电流值。输出回路安装熔断器时，继电器输出回路选用普通熔断器，晶体管和晶闸管输出回路选用快速熔断器。

（3）模拟量 I/O 模块

① 输入范围。电压 0～5V、0～10V，或 -2.5～2.5V、-5～5V；电流 0～20mA、4～20mA 等。传感器变送器距离较远时，选用 0～20mA 或 4～

20mA 型。现场干扰强，建议用电流信号。

② 精度。模拟量输入模块的精度、分辨率、转换时间等，需满足控制要求。

③ 抗干扰。采样信号与供电电源保持适当距离，模拟量输入信号线用屏蔽线；温度传感器输入用与传感器分度号一致的补偿导线。

④ 模拟量输出模块。输出有 0 ~ 10V，－10 ~ 10V，0 ~ 20mA，4 ~ 20mA 等，一般模拟量输出模块都同时具有电压/电流输出方式。

⑤ 智能 I/O 模块　包括通信处理、调制解调器、高速计数、PID 调节、中断控制、位置控制等模块。有些一般 I/O 模块也可实现，但编程工作量大。根据控制要求，如有些参数需要监控和设定，可选择文本编辑器、操作面板、触摸屏等接口单元。

（4）I/O 设备与 PLC 连接　输入/输出信号应符合工艺要求、操作方式，如自动、半自动、手动、紧急停止电路等，还有电源、保护、接地等。模拟量输入信号应与 PLC 模拟量输入数值匹配。

① 停止、复位与保护信号。保护环节信号需要停机时，应将这些作 PLC 输入信号。不可在 PLC 外部输出电路的电源供电线路加装开关或接触器，控制其通断。

② 保护。一般 1 个线圈回路 1 个熔断器，也可 1 组线圈回路接 1 个熔断器。输出直流感性元件并接 1A 左右续流二极管，额定电压是负载电压 3 倍以上，见图 7-227；交流感性元件并联阻容元件，选 0.5W/100Ω 电阻和 0.1μF 电容，电容耐压是负载电压 3 倍以上。对白炽灯，2A 继电器输出接 100W、AC220V 的灯泡。双向晶闸管输出负载电小于 10mA 时，负载两端并电阻。

③ 对安全要求高的电路，在程序互锁基础上，外部电路也要互锁。

④ 特殊模块输出如 DC 4 ~ 20mA、DC 0 ~ 10V 等，要根据执行机构、抗干扰要求等进行选择。

四、PLC 外部电路设计

1. 输入/输出电路

（1）一般要求　将相同类型输入/输出元件列出 I/O 表。一般情况下输入/输出元件可直接连接到 PLC 输入/输出端子上，但线路较长或靠近强干扰源时，要用中间继电器加以隔离；当接近开关、光敏开关两线式传感器漏电流较大时，需要在输入端并联旁路电阻。

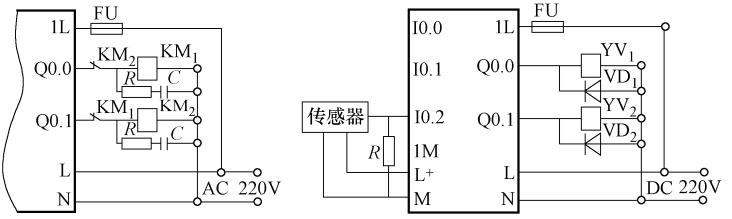


图 7-227　输入输出电路

当输入点不够时，可采用硬件逻辑组合输入方式，见图 7-228；绝对不可同时出现的开关信号，应采用二极管译码扩展输入方式，见图 7-229；对不同工作方式使用的输入点，通过外电路分组扩展输入方式，见图 7-230。上述方式增加输入点可能降低 PLC 系统的可靠性。

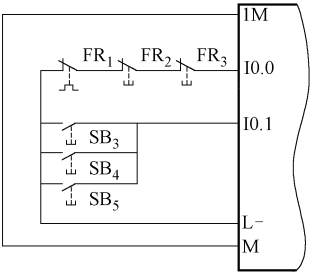


图 7-228　硬件逻辑组合输入

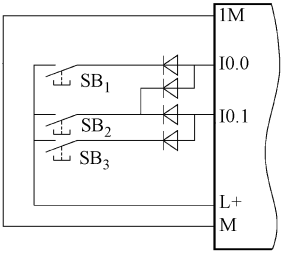


图 7-229　二极管译码扩展输入

（2）输入规格

① 交流伺服电动机与编码器是一体式，每转 2 500 个脉冲，若要求电动机转速 1 500r/min，则编码器输出脉冲频率 62.5kHz，高于 X 0、X 1 输入信号上限 60kHz，需要选用高速计数单元。

② 输入 COM 端。有些开关元件不能有公共端，应该用独立的 COM 端。

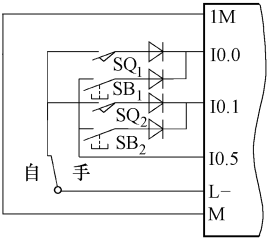


图 7-230　外电路分组扩展输入

③ 电源极性。不同类型的有源开关元件对电源极性有要求，PLC 开关量外接电源可任意，但在同一回路中必须

是同一极性。

④ 同时接入输入点。高温下应注意适当限制同时接入的点数，如 45℃以下允许同时接通 16 点左右，55℃时，允许同时接通 12 点左右。

（3）输出规格

① 外部电源。可交直流，交流不大于 250V，直流不大于 30V。

② 动作显示。面板上对应点 LED。

③ 输出负载。可接接触器、电磁铁、电磁阀、信号灯等，要考虑负载能力；阻性最大负载 2A/1 点、8A/4 点 COM、8A/8 点 COM；感性负载不大于 80VA；灯负载不大于 100W。

④ 响应时间。OFF→ON、ON→OFF 的响应时间全为 10ms。

（4）输出类型

1）继电器输出：

① 负载。感性负载时，在负载并联适合的浪涌吸收器如压敏电阻，可延长继电器使用寿命；对直流负载，可接反并联二极管，二极管耐压值是电源电压 10 倍以上。

② 关于接点的开关频率。继电器输出响应时间为 10ms，制约了响应速度。

③ 继电器输出公共端。在生产现场，一些负载不能有公共端，因此选用独立的 COM 端，每个 COM 构成独立回路。

④ 电源极性。整体式继电器型外接电源可交流或直流，直流电源可采用任意接法，但一个回路中极性必须一致。

⑤ 同时接通点数的限制。高温下同时接通点数有限制，通态与断态负载要适当搭配。

2）晶闸管输出：

① 负载。阻性最大负载 0.3A/1 点、0.8A/4 点 COM、0.8A/8 点 COM；感性负载不超过 15VA/AC100V、30VA/AC200V；灯负载不超过 30W。

② 开路漏电流。1mA/AC 100V、2mA/AC 200V。

③ 响应时间。OFF→ON 的响应时间小于 1ms，ON→OFF 的响应时间小于 10ms。

3）晶体管输出：

① 负载。阻性最大负载 0.5A/1 点、0.8A/4 点 COM、1.6A/8 点 COM，Y0、Y1 为 0.3A/1 点；感性负载≤12W/DC 24V，Y0、Y1 为 7.2W/DC 24V，感性负载应用浪涌吸收器、过流过载保护电路；灯负载≤1.5W/DC 24V，

Y0、Y1 为 0.9W/DC 24V。

② 响应时间。OFF→ON 的响应时间小于 0.2ms，Y0、Y1 为 15μs；ON→OFF 的响应时间小于 0.2ms，Y0、Y1 为 30μs。

③ 通断能力。点数越多，通断能力越差，如 64 点最大通断能力是 8 点最大通断能力的 1.6%。

④ 开关频率。感性负载需浪涌吸收器，如反并联二极管，关断时反压仅为 0.6V，但 OFF 相应时间增大到 65ms，“拖尾现象”降低了开关频率。

2. 电源

1）电源隔离：在电源与 PLC 间安装隔离变压器或电源滤波器。图 7-231是用隔离变压器，控制器和 I/O 系统分别由各自的隔离变压器供电，与主回路电源分开。

2）停电保护数据：对重要参数与状态数据，当输入的交流电突然断电时，应对相关数据加以保护，可使用 UPS 电源，见图 7-232。

3）输入规格：电压范围 85～265V；输入信号电流 6.2mA/AC 110V/60Hz，同时 ON 时比率 70% 以上；输入 ON 电流，ON 状态时的回路电流不小于 3.8mA；输入 OFF 电流，ON 状态时的回路电流不大于 1.7mA；输入响应时间为 25～30ms；输入信号形式为接点输入。

五、程序设计与调试

PLC 程序设计基本流程见图 7-233，对规模较大的 PLC 系统，要注重前期准备工作。

1. 程序设计

（1）功能分析　通过外围线路和程序实现相应控制功能。程序功能包括控制、操作和自诊断功能。控制功能依据受控对象和工艺要求进行设计，要满足时序、精度、控制条件。为便于操作、节省按钮、建立画面，可用触摸屏与组态软件。

（2）程序设计　根据系统外围线路和生产工艺要求，编制实际应用程序。

2. 设计过程

① 框图。根据总体控制要求，绘制程序结构框图，再根据工艺过程，具体细化到动作过程、输出驱动、信号处理、精度等，再细化到跳转、调用、子程序处理、中断程序处理等。

② 编程。采用熟悉的编程语言进行编程，并及时加以注释，方便调试过程。

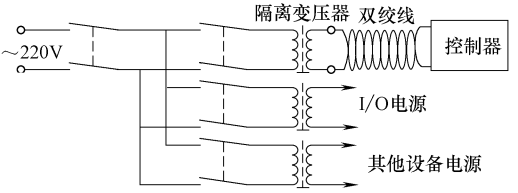


图 7-231　带隔离变压器的电源

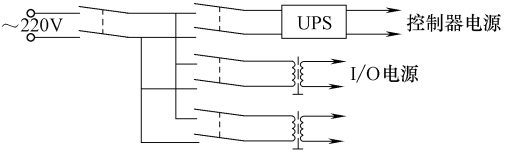


图 7-232　UPS 电源系统

③ 调试。先用模拟信号，测试控制过程；也可用仿真软件。

3. 注意事项

（1）输入信号　尽量独立输入点；各种保护信号至输入点，如自/手动用 2 个点；尽量减少机外硬件元件与线路，将逻辑运算程序完成；采用硬件与程序组合互锁保护方式。

（2）输出信号　负载功率较大，输出端子不能直接接负载，如 1 个接触器 CJ12—100/3，线圈工作电压为 220VAC 时起动功率为 920V · A，则起动电流为 4.18A，吸持功率 85VA，吸持电流 0.39A，用中间继电器或双向晶闸管进行功率放大；每个负载用 1 个输出端子，如两个负载同时工作，必须通过功率放大元件驱动负载；紧急停止按钮作为输入信号，不能接在输出端子。

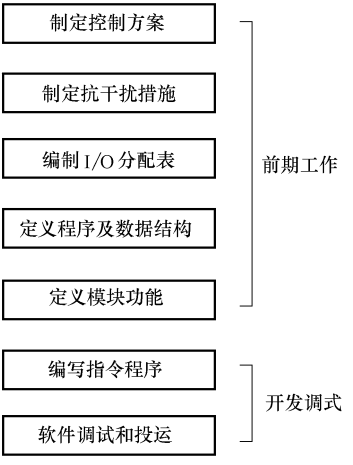


图 7-233　PLC 程序设计基本流程

（3）电源　交流电源必须有隔离变压器；直流工作电压为 24V ± 2.4V。

（4）接地　尽量单独接地，也可与其他设备共同接地，不能串联接地。不能与动力设备共同接地。接地可靠，接地线为 2.5 ~ 4mm^2。

4. 设计方法

（1）逻辑设计法　以逻辑组合设计控制系统，这种方法具有严密、直观、规范的特点。也就是用“0”、“1”表示状态，用逻辑与、或门电路表示控制关系。其中“与”表达为 $f_{Y1} = \prod_{i=1}^{n} Xi = X1 \cdot X2 \cdot \cdots \cdot Xn$，“或”表达为 $f_{M1} = \sum_{i=1}^{n} Xi = X1 + X2 + \cdots + Xn$，“或与”表达为 $f_{Y1} = (M1 + M2) \cdot M3 \cdot \overline{M4}$，“与或”表达为 $f_{M2} = X1 \cdot M0 + X2 \cdot M$，对应的梯形图见图 7-234 ~ 图 7-237。

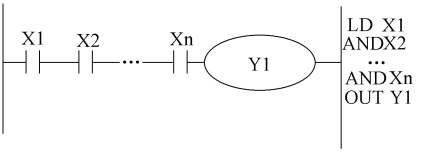


图 7-234　“与”运算

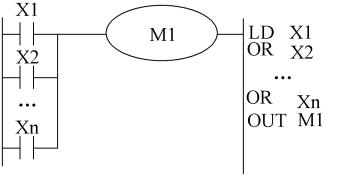


图 7-235　“或”运算

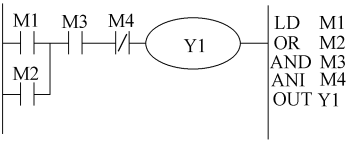


图 7-236　“或与”运算

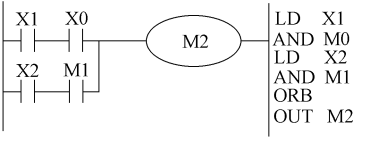


图 7-237　“与或”运算

逻辑设计法的具体设计步骤如下：

① 明确控制工艺，绘制工序和检测元件图，得到元件功能表。

② 确定程序结构，如参数设定、刷新等公共处理、停机和紧急处理、手动、自动、保护等。

③ 详细绘制控制状态过程，包括输入、输出、转换条件和中间记忆元件。

例如：有 4 台电动机，3 台及以上开机时绿灯常亮；2 台开机时绿灯以 10Hz 闪烁亮；1 台开机时红灯以 10Hz 闪烁亮；全部停机时红灯常亮。设输

入信号 X0、X1、X2、X3，F 为输出状态。几种状态下的电动机控制输入输出表 7-141 ~ 表 7-143。

表 7-141　红灯常亮时电动机控制输入输出表

X0	X1	X2	X3	F1
0	0	0	0	1

对于 X0 ~ X3，“1”表示电动机开机，“0”表示电动机关机；对于 F1，“1”表示灯亮，“0”表示灯不亮。

$F1 = \overline{X0\ X1\ X2\ X3}$

表 7-142　绿灯常亮时电动机控制输入输出表

X0	X1	X2	X3	F2
0	1	1	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

$F2 = \overline{X0}X1\ X2\ X3 + X0\ \overline{X1}X2\ X3 + X0\ X1\ \overline{X2}X3 + X0\ X1\ X2\ \overline{X3} + X0\ X1\ X2\ X3$

表 7-143　红灯闪烁亮时电动机控制输入输出表

X0	X1	X2	X3	F3
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
1	0	0	0	1

$F3 = \overline{X0\ X1\ X2}X3 + \overline{X0\ X1}X2\ \overline{X3} + \overline{X0}X1\ \overline{X2\ X3} + X0\ \overline{X1\ X2\ X3}$

表 7-144　绿灯闪烁亮时电动机控制输入输出表

X0	X1	X2	X3	F4
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1

$F4 = \overline{X0\ X1}\ X2\ X3 + \overline{X0}X1\ \overline{X2}X3 + \overline{X0}X1\ X2\ \overline{X3} + X0\ \overline{X1\ X2}X3 + X0\ \overline{X1}X2\ \overline{X3} + X0\ X1\ \overline{X2\ X3}$

④ 将所有逻辑表达式进行整理并简化，最终得出简化结果。

⑤ 绘制梯形图（省略）。

这种设计方法用逻辑变量表示输入输出，确定对应信号状态逻辑值；列出状态表；由状态表得出逻辑函数式并化简；画出梯形图。

（2）时序图设计法　以时间为转换条件，如某过程有 16 个工序或在循环中还有特殊要求的循环，每个工序时间为 2s 且可任意调整。X0 启动，X1 停止，还有保护输入。启动后执行中如再按 X0，不影响工序执行，在执行中按 X1 程序停止并全部复位。可以用基本指令、SFC、功能指令中的位移指令实现。分析控制要求，明确输入输出信号数，选择 PLC 型号；确定输入与输出时序关系；将时序图分成若干个区段，找出转换关系和条件；选择定时器元件号、设定值；时序与 I/O 间逻辑关系，编制程序并加以调试。

（3）经验设计法　采用这种方法时需要经验非常丰富，且十分熟悉指令，程序设计后需要反复调试、修改和完善。这种方法随意性比较大，对复杂系统，程序可读性差。设计时应明确控制过程，确定输入输出元件、检测元件等；列表 I/O，选择 PLC 型号；采用习惯的编程与调试方法；考虑因素较多，且需大量中间元件。

（4）SFC 法　逻辑性强，有多种具体设计方法。

（5）继电器电路转换成梯形图法　这种设计方法既简单又可靠，在原继电器电路基础上直接改造。此方法需要了解原继电器控制过程；确定输入/输出点；确定中间继电器、时间继电器与 M、T、C 的关系；确定常开/常闭触点；对电路输入/输出进行调整。

不能简单确定哪种设计方法比较好，也可能是以上方法的综合使用。

5. 程序调试

程序调试包括模拟调试、仿真调试和联机调试，PLC 与设备相连接后进行程序调试，检查正确性与可靠性。

6. 现场调试

① 核对查线。不接电源逐点检查；再接电源查线，观察输入/输出信号。

② 检查模拟量。输入/输出模块电压电流信号、精度、通道设定，接线与保护正确合理。

③ 检测指示灯。结合 PLC 输入/输出，检测状态。

④ 检查手动控制逻辑关系。根据控制要求，设定输入条件、输入信号，检查手动控制程序运行的输出状态，符合要求。

⑤ 自动运行。按照工艺过程，将程序分功能段逐一设定与调试；再将若干功能段进行拼接，合理设置跳转、调用等，完成调试。

⑥ 模拟量调试与设定。涉及精度、运行速度、范围等，正确设定通道、采样形式、脉冲量速度等，如 PID 控制程序、流量控制、液位控制、温度控制等。

⑦ 抗干扰措施。必须保证外部电路可靠，逻辑电路频繁动作部位应考虑消除干扰，模拟量输入线需要使用双绞线，且屏蔽与滤波处理，PLC 需接地等。

7. 程序优化

① 在满足控制要求前提下，程序编写方法可以不同，且各有技巧。

② 程序尽量简短。程序调试后，应对程序进行优化，力争简洁。用子程序、跳转等，减少程序的有效扫描段时间。

③ 程序应模块化。按功能程序模块化，形成程序段，这样便于调试与更改。

第九节　可编程序控制器的维护

一、日常维护

1. 定期检查

由于工作环境影响 PLC 的使用寿命，必须定期检查。观察 CPU 模块指示灯；如设备重新安装、重接电源时必须检查电源；检查 I/O 端子，以防短路与“熔焊”、线圈老化等；环境检查如温度、湿度、金属粉层、有害气体等；安装检查，插接件连接可靠、接线接地线牢固等。

2. 电池更换

PLC 锂电池使用寿命一般为 2 ~ 5 年。三菱 PLC 电池使用寿命与更换标准见表 7-145。当电池电压降低时，报警灯显示 BATT. V，在 1 个月内要更换电池。

表 7-145　三菱 PLC 电池使用寿命与定期更换

存储器种类	电池使用寿命与更换标准/年		
	保存期	寿命	定期更换时间
PLC 内部存储器	1	5	3
PLC 存储卡	1	3	2

（1）FX_{2N}系列 PLC 电池更换　必须符合 PLC 厂家的电池要求，20s 内更换完成，见图 7-238。准备新电池，关闭 PLC 电源；握住 PLC 上盖左角，

抬起右侧拿下盖板；从电池架取出旧电池，拔出连接插头；确认电池极性，20s 内将新电池插头插入；将新电池装入电池架内；再安装 PLC 盖板。

（2）FX_{3UC}系列 PLC 电池更换　如图 7-239 所示，关闭 PLC 电源；从控制柜内取下基本单元，将单元电源连接线、I/O 接线、通信线、扩展连接线全取下；取下电池盖板，用螺钉旋具插入 PLC 下部电池外盖内见图中①；用螺钉旋具松开电池外盖见图中②；取电池外盖见图中③；取下旧电池，确认新电池极性，20s 内将新电池插入 PLC；装入电池架内；安装 PLC 盖板。

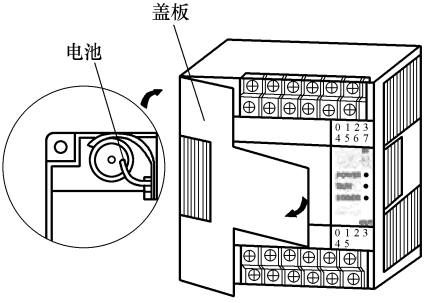


图 7-238　FX_{2N}系列 PLC 的电池更换

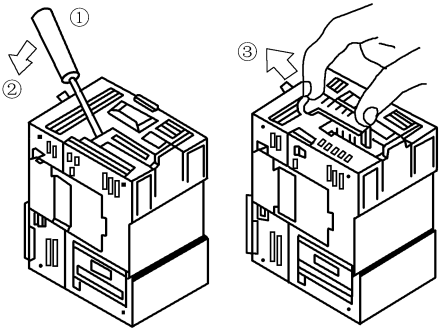


图 7-239　FX_{3UC}系列 PLC 的电池更换

3. 日常维护

PLC 柜安装环境整洁、干燥；电气柜应密封，且通风、散热良好；清洁柜内，保证电器元件工作状态良好；线缆进出口密封，防异物、灰尘，防小动物进入咬断电线；定期检查通/断大功率接触器触点状态；定期检查元件

开关，清洁元件开关的金属屑、灰尘等。

二、状态指示灯

FX 系列 PLC 有电源 POWER、运行 RUN、电池电压不足 BATT. V、程序出错 PROG-E、CPU 出错 CPU-E 及与 I/O 点对应的指示灯等。$FX_{1S/FX/1N}$、FX_{3U}系列 PLC 程序出错与 CPU 出错指示合并，使用统一的 ERROR 指示灯，$FX_{1S/FX/1N}$无电池电压不足指示 BATT。

1. $FX_{1S/FX/1N}$系列

基本单元有电源 POWER、运行 RUN 与出错 ERROR 指示灯，见图 7-240。ERROR 代表 CPU 出错与用户程序出错。输入/输出指示灯与 I/O 地址对应。

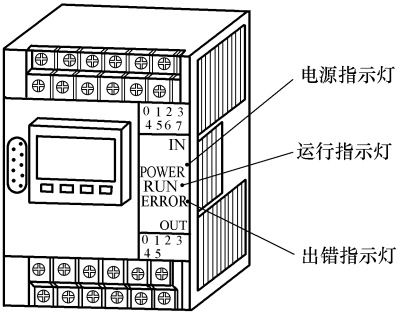


图 7-240　$FX_{1S/FX/1N}$系列 PLC 指示灯

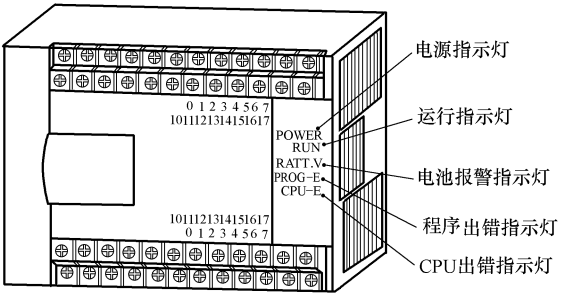


图 7-241　FX_{2N}系列 PLC 指示灯

2. FX_{2N}系列

基本单元有电源 POWER、运行 RUN、电池电压低 BATT. V、CPU 出错

CPU-E、程序出错 PROG-E 指示灯，见图 7-241。输入/输出指示灯根据 I/O 点，与 I/O 地址相对应。

3. FX_{3U} 系列

基本单元有电源 POWER、运行 RUN、电池电压低 BATT、出错 ERROR 指示灯，见图 7-242。ERROR 表示 CPU 出错与用户程序出错，输入/输出指示灯与 I/O 地址相对应。

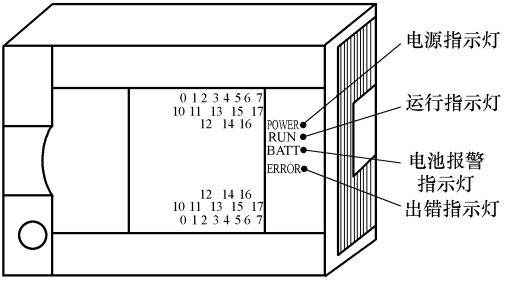


图 7-242　FX_{3U} 系列 PLC 指示灯

三、故障诊断与维修

1. 状态指示灯的检查

（1）状态指示灯的功能

1）电源指示灯 POWER。基本单元、扩展单元与功能模块有 POWER 指示灯，灯亮表示电源正常。电源接通后 POWER 指示灯不亮，检查外部电源，即检查 PLC 连接端 24 +，该端有接线时表明 PLC 需外供 24V 电源，取下接线，断开外部负载再检查试验。如连接端 24 + 未使用或取下连接端 24 + 连接线后，POWER 指示灯仍不亮，表明 PLC 内部故障，检查内部电源熔断器。当用 PLC 内部 24 + 端对传感器供电时，传感器负载电流应在允许范围内；外部电源 DC24V 端不可与 PLC 的 24 + 端相连接。

2）运行指示灯 RUN。该指示灯亮为正常，表明程序运行；如不亮可能是 RUN/STOP 开关设置为 STOP；若 PLC 程序出错误，这时 PROG – E 或 ERROR 同时亮或闪烁。

3）电池电压低指示灯 BATT。该指示灯亮表明电池电压低，应尽快更换电池。

4）程序出错指示灯 PROG-E。PROG-E 闪烁表明 PLC 程序有错，包括 T、C 缺少设置值；语法或程序错误；调转、中断、调用错误或无指针号，无

IRET；顺控指令无 RET 指令等；电池电压下降引起用户程序出错；灰尘、导电物引起 PLC 内部工作错误；外部干扰引起内部工作错误等。

5）CPU 出错指示灯 CPU-E。灯亮表明用户程序循环执行超时。可能程序编写问题；外部干扰引起内部工作错误；灰尘、导电物引起内部工作错误；通电时安装与取下 PLC 存储器卡等。

6）出错指示灯 ERROR。FX_{1SFX1N}、FX_{3U}系列 PLC 没有独立 CPU 出错指示灯 CPU-E 与程序出错指示灯 PROG-E，出现这两种情况需要认真检查。

7）输入指示灯。输入有效时对应灯亮。输入接口电路损坏等。

8）输出指示灯。输出继电器为“1”时对应灯亮。

（2）故障诊断与维修

1）电源指示灯 POWER。Q 系列 PLC 电源模块与外供电源特殊模块均有电源指示灯 POWER。外部电源接通后不亮，检查外部电源；外部电源正确后仍不亮，模块是否可靠安装于基架。如模块正确安装灯仍不亮，检查电源模块容量。

2）运行指示灯 RUN。灯亮工作正常。如不亮，CPU 出错指示灯 ERR 亮，程序有错，此时灯 USER 同时亮或闪烁；RUN/STOP 设置为 STOP，PLC 停止运行；CPU 模块设定不正确；参数设定不正确；程序循环超时，此时 USER 同时亮。检查确认无故障时，复位重新启动 PLC。

3）电池电压不足指示灯 BATT。亮时，电池电压低，SM51/52 置 1。检查 SD51/52 确认电压低的具体部位。BATT 灯亮时，1 个月内应更换电池。

4）CPU 出错指示灯 ERR。ERR 亮时，在 GX Developer 诊断。可能外部引起 PLC 内部工作错误；用户程序错误；硬件故障；主基板、扩展基板、电源模块等安装连接不良；扩展基板扩展电缆连接不良；CPU 模块设定错误；PLC 参数设定错误。通过对 PLC 复位确认故障原因。如复位故障排除，应检查 PLC 接地系统、电缆布置、电源输入连接等，消除外部干扰重新启动 PLC。

5）用户程序出错指示灯 USER。闪烁时用户程序有错，通过 SD 确认。常见故障有：定时器计数器无设定值；存在语法错误或程序错误；I/O 模块安装设定错误；参数设定错误。通过复位，确认故障是否存在于程序中；如复位恢复正常工作，表明程序无错误，由外部引起。

6）引导系统出错指示灯 BOOT。若闪烁，表明 PLC 开机过程中检测到引导系统发生故障，此时应对 PLC 系统重新引导并排除故障。

7）模式指示灯 MODE。只要 PLC 模块安装与工作方式设定正确，接通

外部电源后，灯亮；如不亮可能 PLC 硬件模块安装不良；PLC 设定错误；PLC 电源、主基板、扩展基板、电源模块等安装不好。

8）PLC 输入指示灯。输入时指示灯不亮，常见原因有：模块与安装基板连接不良；主基板、扩展基板、电源模块等安装、连接不良；扩展电缆连接不良；汇点输入（无源）时，信号接触电阻大，或负载大、短路引起 PLC 内部电源电压降低保护，使输入电流不足以驱动输入电路；源输入时，因信号接触电阻大或输入电压低；输入端子接触不良，或输入连接线连接不良；当故障发生在扩展单元时，可能是基本单元与扩展单元间连接不良；输入接口电路损坏等。

9）输出指示灯。当输出 ON 时如指示灯不亮，常见原因有：I/O 模块安装不良；模块与基板连接不良；主基板、扩展基板、电源模块等连接不良；扩展电缆连接不良；汇点输出时，可能 PLC 输出电路损坏；源输出时，可能因输出过载、短路引起 PLC 内部电源电压降低；故障发生在扩展单元时，可能是基本单元与扩展单元间连接不良；输出电路损坏等。

2. 内部特殊辅助继电器 M/数据寄存器 D 的检测

通过内部特殊辅助继电器 M 与数据寄存器 D 的状态检测，了解故障原因。内部特殊辅助继电器 M，显示内部工作状态与故障信息，通过自诊断功能自动写入。

内部特殊数据寄存器 D，用于显示内部工作状态，通过 PLC 自诊断功能自动写入。内部特殊数据寄存器 D 具体指示故障原因与部位。

3. PLC 出错代码与维修处理

PLC 出错时，读取 SD0 出错代码，分析错误原因并采取相应处理方法，见表 7-146、表 7-147。

表 7-146　内部模块出错代码及分析处理

出错代码	出错原因	处理方法
1000～1009	CPU 出错	消除干扰；对 CPU 复位；更换 CPU 模块
1010～1012	END 指令出错	
1101～1105	CPU 模块 RAM 出错	更换 CPU 模块
1200～1206	CPU 模块硬件不良	
1300	输出模块熔断器熔断	更换熔断器
1301～1310	模块外部电源中断	检查模块电源连接
1401～1412	特殊功能模块存在不良	检查特殊模块安装；检查特殊模块电源；更换特殊模块
1413～1416	PLC 总线连接或基板不良	检查扩展电缆连接；检查扩展基板设定；更换基板或 CPU 模块

（续）

出错代码	出错原因	处理方法
1500～1530	电源故障	检查输入电源连接；更换电源模块
1600～1602	电池电压过低	更换电池
2000	I/O 模块安装不良	正确安装 I/O 模块
2100	I/O 模块地址错误	按要求安装 I/O 模块；检查模块地址分配与设定
2101～2109	模块安装数量超或安装不能使用的模块	正确安装模块；检查模块型号
2110～2150	模块安装位置不正确	正确安装模块
2200～2210	DIP 开关设定错误	正确设定
2300～2302	存储器卡错误	取消存储器卡保护；对存储器卡格式化
2400～2504	PLC 文件设置错误	重新设 PLC 参数
3000～3401	PLC 参数设定错误	
4000～4301	PLC 程序错误	修改 PLC 程序
4400～4633	SFC 程序出错	
5000～5011	PLC 循环时间超过	查 PLC 参数设定
6000～6222	PLC 冗余系统报警	检查冗余系统参数设定
7000～7020	多 CPU 系统报警	检查多 CPU 系统参数设定
9000～9010	外部设备报警	检查外部设备工作情况
9020	引导操作完成	正常工作状态
10000	其他 CPU 模块报警	

表 7-147　外部设备出错代码及分析处理

出错代码	出 错 原 因	处 理 方 法
4000～4008H	CPU 出错	检查电缆连接；取消密码；关闭保护开关
4010～4011H	CPU 工作模式错误	改变 CPU 工作模式
4021～402CH	CPU 文件出错	修改文件设置
4031～4033H	CPU 编程元件指定出错	检查编程元件设定
4041～4026H	特殊功能模块规格错误	重新设定或更换特殊功能模块
4050～4054H	存储器卡写保护	取消存储器卡保护
4060～406AH	模块不能在线	检查参数设定
4070H	程序不匹配	修改程序
4080～408BH	其他出错	检查参数设定、修改程序
4090～409FH	SFC 编程错误	检查断点设定；PLC 程序执行中不能请求
40A0～40A6H	SFC 编程元件错误	重新设定正确的编程元件
40B0～40B3H	SFC 文件错误	重新设定、修改文件
4A00～4A02H	通信错误	重新设定通信参数
4B00H	存取目标错误	检查存取目标工作状态

第八章　电气节能技术

一、概述

电气节能是在电力生产、输送、使用各个环节，研究分析电能消耗的规律，持续改善用电状况，减少损耗浪费，即技术可行、经济合理、工艺科学、利于环保的措施，实现电力供需的平衡。抓好电能管理合理用电，依靠科技实施技术改造，推进节能技术。

（1）电能平衡的概念　对供电电量在用电系统内的输送、转换、利用进行考核、测量、分析和研究，并建立供给电量、有效电量和损失用电量之间平衡关系。电能平衡的理论基础是能量守恒定律，是电能“收”与“支”的平衡，而不是功率平衡，研究电能利用和损耗间的关系，通过测试与计算分析，做到合理用电、优化用电，用电的各个环节实施计量测定，稳定负荷可利用输入功率。

（2）电能平衡的方法

1）测量点。安装到符合精度要求的测量点。

2）测量时间。选取具有代表性的正常负荷、高峰负荷和平均负荷、正常工作日电量、正常工作月电量，便于实际状况分析。

3）按预定测量方法，测量、记录、整理、统计测量数据。

4）按电能传递路径和工艺流程，并根据测量数据，逐步进行电能利用率计算。

5）绘制电能平衡图表，列出电能所有收支项目。

6）电能分析，分清有效和无效损耗，发现用电不合理现象及浪费问题，设法降低无效损耗。

（3）电能平衡的要求

1）符合国家标准和规定，如《评价企业合理用电技术导则》（GB 3485—1998）。

2）对同类用电体系有统一平衡边界线。从用电体系外通过边界线向用电体系输入的电量称为用电体系的收入量；从用电体系内通过边界线向外输出的电量或能量称为用电体系的支出量。根据收入量和支出量可以分析用电体系的电能平衡。在边界线内电能从 1 台设备传送至另 1 台设备，不增减用电量，只改变内部电能的分布与流向。在确定用电体系的边界线时，要充分

考虑平衡结果具有可比性，边界线内应包括所有的用电项目和完成预定目的全过程。

3）基准。电能平衡基准计算量以电能量为基准，各种能源量统一折算到电能基准的计算量。

二、降低供配电线路损耗的措施

工厂企业供配电网络损耗简称“线损”，常用线损率表示，即企业供配电网络总的电能损耗与总输送电能之比，线损率是衡量线损高低的指标，综合反映电力系统规划设计、生产运行和经营管理水平，体现电能的有效利用。

线损主要包括高低压架空线路的损耗；降压变压器的损耗；屋内配电线路的损耗；高低压电缆的损耗；母线、高低压开关、隔离开关、电容器、电抗器等及各类仪表元件的损耗。按照相关规定，企业线损率应达到一次变压不超过3.5%、二次变压不超过5.5%、三次变压不超过7%。企业供配电网络中线损主要消耗在供配电线路阻抗及变压器损耗。

降低供配电线路损耗的具体措施如下：

（1）简化电压等级，减少变电容量　降低线损的有效措施就是，简化电压等级，减少变电容量，将高压线路直接架设到负荷中心，即高压送电。升压降损效果计算公式为

$$\Delta P(\%) = \left[1 - \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2\right] \times 100\% \tag{8-1}$$

式中　$\Delta P(\%)$——可变损耗降低的百分数，即线损率；

U_1——升压前的电压（kV）；

U_2——升压后的电压（kV）。

减少一次变电可以减少1%～2%的有功损失及10%～20%的无功损失，见表8-1。

表8-1　电网升压后的降损效果

升压前电网原额定电压/kV	升压后电网原额定电压/kV	升压后功率损耗降低百分数(%)
154	220	51
110		75
66(60)	110	64(70.3)
44		84
35		90

（续）

升压前电网原额定电压/kV	升压后电网原额定电压/kV	升压后功率损耗降低百分数(%)
22 10	35	60.5 91.8
6 3	10	64 91
3 0.22	6 0.38/0.22	75 66.7

（2）合理调节电网的运行电压

1）提高运行电压。在35kV及以上电压电网中，通过适当提高运行电压来降低电网的可变损耗。合理选择变压器的分接头位置、安装有载调压变压器，利用电网中现有的电容器进行调压。线损降低率与电压提高率的关系为

$$\delta = \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha}{100}\right)^2}\right] \times 100\% \qquad \alpha = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \tag{8-2}$$

式中　δ——线损降低率（%）；

α——电压提高率（%）；

U_1——原电压（kV）；

U_2——提高后电压（kV）。

δ与α的关系也可从表8-2中查得。

表8-2　提高运行电压与降低线损的关系

电压提高率(%)	1	3	5	10	15	20
线损降低率(%)	1.93	5.74	9.09	17.35	24.39	30.5

2）降压节能措施。对10kV及以下农网，采用降压节能措施，可降低网络的固定损耗，提高功率因数。运行电压与线损率的关系见表8-3。可知，10kV电网的经济运行电压为9.5～10.0kV。

表8-3　运行电压与线损率的关系

10kV母线电压/kV	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
线损率ΔP(%)	8.29	7.69	7.69	8.00	8.66	9.34	10.75

（3）电网经济运行　电网经济运行主要方式有：环网自然功率分布式，即按环网中各线段阻抗成反比分布；经济功率分布，即按环网中各线段电阻成反比分布，此时环网中线损最小。对于均匀电力网，使用混合运行最合理，因为此时自然功率分布等于经济功率分布；对于非均匀电力环网，当实行开环运行时，开环点的选择应使开环后功率分布尽可能与经济功率分布接近，或在非均一环网中加上串联电容、纵向或横向调压变压器以强制实现有功和无功功率的经济分布。

（4）合理选择导线截面积　供电线路损耗与电流和导线电阻有关，材质、截面积、长度确定时，线损与负载电流的二次方成正比，而单位长度导线的电阻则与导线截面积成反比。导线截面积越大线损越小。但截面积太大材料成本就很高。当线路输送电流值在相应年最大负荷利用小时数下，接近导线材料的经济电流密度或接近经济负荷电流值时，供配电线路处于经济运行状态。常用导线材料经济电流密度见表 8-4。

表 8-4　常用导线材料经济电流密度

（单位：A/mm²）

导线材料	年最大负荷利用时间/h		
	<3 000	3 000 ~ 5 000	>5 000
裸铜导线和母线	3.00	2.25	1.75
裸铝导线和母线	1.65	1.15	0.90
铜芯电缆	2.50	2.25	2.00
铝芯电缆	1.92	1.73	1.54
钢线	0.45	0.4	0.35

按经济电流密度 J_e 计算导线截面积 A_e，公式如下：

$$A_e = \frac{I_c}{J_e} \tag{8-3}$$

式中　A_e——导线经济截面积（mm²）；

I_c——线路计算电流（A）；

J_e——导线经济电流密度（A/mm²）。

根据公式计算的截面积，可选最接近且较小的标准截面积，再校验发热条件和机械强度。

（5）合理安排设备检修　设备检修时，需要改变正常的运行方式。改变后的接线方式可能影响可靠性，增加线损，因此要合理安排设备检修。

（6）合理调整负荷　提高负荷率，调频、调压和经济运行，充分降损

节电。均衡用电，保持负荷平衡，包括白天与晚上负荷均衡及三相负荷平衡。一般配电变压器出口电流不平衡度不超过 10%，低压干线及主要分支线不平衡度不超过 20%。

三、降低变压器损耗的措施

1. 合理选择变压器容量

供电设计中，选择变压器容量时应根据用电设备计算负载大小，并考虑一定裕量。通常变压器在 50% ~100% 额定负载状态下运行效率较高，50% 额定负载时达到最高效率点。因此，根据负载变动情况需要进行变压器的切换或配置，容量使用得当可以减少损耗。空载变压器应及时停运；负荷率过小的变压器，在经济技术比较后更换合适容量的变压器；负荷率较大或具有季节性负荷的用户可采用母子变压器供电方式。一般来说，按变压器年度电能损耗最小的原则，计算比较合理的负载率，并按此选择变压器容量，以获得较佳的节电效果。变压器年有效、无效综合电能损耗最小时的负载率为

$$\beta=\sqrt{\frac{(P_0+K_Q Q_0)t}{(P_K+K_Q Q_K)\tau}} \tag{8-4}$$

式中　β——负载率；

P_0——变压器空载有功损耗（kW）；

P_K——变压器负载有功损耗（kW）；

Q_0——变压器空载无功损耗（kvar）；

Q_K——变压器负载无功损耗（kvar）；

K_Q——无功经济当量（kW/kvar），表示每补偿 1kvar 无功功率在供电系统中引起的有功功率减少量。6 ~ 10kV 配电变压器取 0. 1 ~ 0. 15kW/kvar；

t——变压器全年接入电网的运行时间，取 8000h；

τ——变压器最大负载年耗电小时数，它与最大负载利用小时数 T_{max} 和变压器的功率因数 $\cos\varphi$ 有关，表 8-5 列出了各类电力用户的 τ 值与 T_{max} 的关系。

表 8-5　各类电力用户的 τ 值与 T_{max} 的关系（单位：h）

生产类型	T_{max}	当 $\cos\varphi$ 为下列值时相应的 τ 值	
		0. 9	0. 95
煤炭	4 000 ~ 5 500	2 400 ~ 3 950	2 200 ~ 3 750
石油	6 500 ~ 7 000	5 100 ~ 5 800	5 000 ~ 5 700
黑色金属采选	4 000 ~ 6 500	2 400 ~ 5 100	2 200 ~ 5 000

（续）

生产类型	T_{max}	当 cosφ 为下列值时相应的 τ 值	
		0.9	0.95
钢铁联合企业	4 500～7 000	2 900～5 800	2 700～5 700
煤炭工业	4 000～5 500	2 400～3 950	2 200～3 750
有色、化工采选	5 000～6 500	3 400～5 100	3 200～5 000
有色金属冶炼	7 500	6 550	6 500
电铝工业	8 000	7 350	7 310
机械、电器制造	2 000～5 000	1 000～3 400	800～3 200
化工	6 000～7 000	4 500～5 800	4 350～5 700
建材	4 000～6 500	2 400～5 100	2 200～5 000
造纸	6 000～6 500	4 500～5 100	4 350～5 000
纺织	5 000～6 000	3 400～4 500	3 200～4 350
食品	4 000～4 500	2 400～2 900	2 200～2 700
交通运输	3 000	1 600	1 400
电气化铁道	6 000	4 500	4 350
城市生活用电	2 500	1 250	1 100
上下水道	5 500	3 950	3 750

根据最佳负载率 β 来确定变压器的容量，最佳负载率 β 关系式为

$$\beta = \frac{S_{30}}{S_N} = \sqrt{\frac{(P_0 + K_Q Q_0)t}{(P_K + K_Q Q_K)\tau}} \tag{8-5}$$

按照发热条件，变压器应满足

$$S_N = \frac{S_{30}}{\beta} > S_{30} \text{即} \frac{(P_0 + K_Q Q_0)t}{(P_K + K_Q Q_K)\tau} < 1 \tag{8-6}$$

式中 S_N——变压器的额度容量（kV·A）；

S_{30}——最大负载内变压器低压侧实测得的30min平均最大负载（kV·A）；

P_0——变压器空载有功损耗（kW）；

P_K——变压器负载有功损耗（kW）。

变压器选型时，根据供电系统运行状况，尽量用电压比大的变压器；所选变压器还要有与供电系统电压变动范围相适应的无励磁调压或有载调压装置，保证企业用电电压稳定。对单一电源供电企业，当最大负载超300kW时，应根据负载特点，在确定变压器台数基础上，再按经济运行要求选择容量。同时，在满足同一用电负载时，还应按使用期限内总费用最小原则比较。

2. 合理安排变压器运行台数

当多台变压器并联供电时，应根据实际负荷决定运行台数。当 n 台变压器型号、容量相同时，计算实际运行 n 台变压器的下限经济电流 I_e 为

$$I_e = I_N \sqrt{n(n-1)\frac{P_0}{P_K}} \tag{8-7}$$

式中　I_e——下限经济电流（A）；

I_N——变压器额定电流（A）；

n——并联运行变压器台数；

P_0——变压器空载有功损耗（kW）；

P_K——变压器负载有功损耗（kW）。

当实际负荷电流 $I > I_e$ 时，用 n 台变压器运行；当 $I < I_e$ 时，用 $n-1$ 台或 $n-2$ 台变压器运行。当负载波动大或发生季节性变化时，可选用变容量变压器或两台不等容量变压器，保证经常运行在经济负载区域。对季节性变化负荷，可采取并联运行方法。白天与晚上负荷区别较大时，采取并联运行方法降低变压器电能损耗不合理，会增加变压器开关操作次及检修量。

3. 确保变压器负载经济运行

当变压器处于经济运行区域时，空载损耗等于负载损耗，即铁损等于铜损。此时变压器效率最高，变压器最有利的经济负载 S_e 为

$$S_e = AS_N \tag{8-8}$$

式中　S_e——变压器经济运行负载（kV · A）；

A——变压器最大效率系数，见表 8-6；

S_N——变压器的额定容量（kV · A）。

表 8-6　变压器最大效率系数

变压器型号	电压/kV	容量范围/kV · A	A 值
SJ	35	560 ~ 7 500	0. 7 ~ 0. 6
SJL	35	560 ~ 5 600	0. 7 ~ 0. 65
SJL1	35	630 ~ 6 300	0. 46 ~ 0. 36
SJ	6 ~ 10	100 ~ 1 800	0. 65 ~ 0. 62
SJL	6 ~ 10	100 ~ 5 600	0. 7 ~ 0. 65
SJL1	6 ~ 10	100 ~ 6 300	0. 5 ~ 0. 4

注：$A < 0.3$ 时，变压器效率明显下降；变压器容量较大者，A 值取下限，反之取上限。

4. 选择节能变压器

节能型变压器的空载损耗和负载损耗应符合《三相配电变压器能效限

定值及节能评价值》（GB 20052—2006）节能评价值规定。主要包括 S9、S10、S11 等系列油浸式变压器和 SG9、SG10 等系列干式变压器，其中有叠铁心、卷铁心和非晶合金铁心等。目前 S9 系列变压器使用较多，推荐使用 S11 系列油浸式、SG10 系列干式及 SH11 系列非晶合金变压器。新型变压器价格较高，但是在全寿命周期内节能效果明显，尤其是非晶合金变压器。表 8-7 为 10kV 级 S9、S11 变压器的损耗参数。

表 8-7　10kV 级 S9、S11 变压器的损耗参数

容量	S9		S11	
/kV·A	空载损耗/W	负载损耗/W	空载损耗/W	负载损耗/W
50	170	870	130	870
100	290	1 500	200	1 500
160	400	2 200	280	2 200
200	480	2 600	340	2 600
315	670	3 650	480	3 650
500	960	5 150	680	5 150
630	1 200	6 200	810	6 200

四、提高功率因数的方法

1. 设备选择法

合理选择供配电设备与用电设备的容量，改善使用方式或状态，减小无功功率，在不采取特种补偿装置的条件下，在设备与用电方面采取必要的措施，以提高功率因数。

（1）选择电动机功率　一般异步电动机在额定负载时功率因数为 0.85～0.89，空载时为 0.2～0.3。实际应用中异步电动机无功功率消耗量约占企业无功总耗量较大，因此，必须调整电动机配置，按照实际负载选用电动机，接近满载状态运行。

（2）保证变压器负载经济运行　变压器负载低于最低经济负载时，必须合理更换相应容量的变压器。如用电很少时，可将负载集中到 1 台变压器。

（3）限制设备空载运行　对设备空载运行持续时间超 5min 的中小型电动机或电焊机应及时停机；机床上采用负载限制器，电焊机安装空载自停装置。

（4）合理选择照明灯具　选择高功率因数照明灯具，在荧光灯镇流器上加电容器，功率因数可达 90%。

（5）合理选用同步电动机　在生产工艺条件允许时，功率在 250kW 以上的电动机负载比较稳定，应选用同步电动机在过励磁方式下运行，提高自然功率因数。

2. 人工补偿法

采用补偿装置，对供用电设备所需的无功功率人工补偿。通常是电力电容器或移相电容器或补偿电容器、调相机等。人工补偿法比较普及，电容器补偿优点是有功损耗小，一般为无功容量的 0.3% ~0.5%。采用调相机补偿，有功损耗分别为满载时占额定功率的 1.8% ~5.5%、半载时为 2.9% ~9%、带 1/4 负载时高达 5% ~15%。采用电容器补偿效益较高，但使用寿命较短，一般使用期限为 10 ~15 年，切除后剩有残余电荷，不允许在 1.1 倍额定电压下长时间运行。

（1）提高功率因数与线损降低率的关系　提高功率因数与线损降低率的关系见表 8-8。当输送有功功率一定时，提高线路的功率因数后，线损降低率 δ 计算公式为

$$\delta = \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}\right)^2\right] \times 100\% \tag{8-9}$$

式中　$\cos\varphi_1$——原线路功率因数；

$\cos\varphi_2$——提高后线路功率因数。

表 8-8　提高功率因数和线损降低率的关系

功率因数提高到 0.95	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
线损降低率(%)	60	53	46	38	29	20	10

（2）提高变压器负载的功率因数　变压器的效率随输出功率变化的同时，也随负荷的功率因数变化。功率因数降低时，效率相应降低，因此需要提高功率因数。在变压器二次侧进行无功功率补偿可降低变压器损耗，同时无功功率补偿还可降低高压电网的线损，提高变压器的负载能力，改善用户的电压质量。若电力电容器补偿容量为 Q_C，则变压器增加的供电能力 ΔS_T 为

$$\Delta S_T = \left[\frac{Q_C}{S}\sin\varphi - 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{Q_C}{S}\right)^2 \cos^2\varphi}\right] S \tag{8-10}$$

式中　ΔS_T——变压器增加的供电能力（kV · A）；

S——变压器视在功率（kV · A）；

Q_C——电力电容器补偿的容量（kV · A）。

五、电动机的节能

1. 选用电动机的原则

1）根据生产工艺对电动机的起动、制动、反转、调速和生产设备负载性质等因素进行综合考虑。

2）根据使用场所环境条件，如湿度、温度、灰尘、瓦斯及腐蚀易燃易爆气体等，在满足防护要求的条件下确定电动机结构形式。

3）根据负载转矩、转速变化和起动频繁程度要求，考虑电动机过载能力、温升及起动转矩，选择电动机功率并确定电动机冷却通风方式。选择电动机功率时，负载率选取范围为0.8～0.9，适当考虑余量。

4）考虑用户电网电压及对功率因数的要求，确定电动机电压等级及电动机类型。

5）根据设备最高转速、调速过程及减速机构复杂程度，选择电动机额定转速。

因此，尽量选用成本低、结构简单、方便维护的笼型异步电动机，选用四、六极电动机，尽量选用低压电动机；如有高压电源，功率在200kW以上可选用高压电动机；按负载运行特性选用电动机。

一般电动机负载率为65%～80%时效率较高。电动机额定输出功率，通常按最大负载选定，而实际上部分电动机的输出功率按周期性变化。负载损耗为电动机的大部分功率损耗，它与负载电流的二次方成正比，功率因数一定时，负载损耗与输出功率的二次方成正比。可根据计算负载的均方根值决定电动机的输出功率。均方根负载 P_{av} 为

$$P_{av}=\sqrt{\frac{P_1^2t_1+P_2^2t_2+P_3^2t_3+\cdots+P_n^2t_n}{t_1+t_2+t_3+\cdots+t_n}} \tag{8-11}$$

式中 P_1、$P_2\cdots P_n$——某一工作时间的负载（kW）；

t_1、$t_2\cdots t_n$——某一工作时间（s）。

对负载率不超过50%的电动机，按经济运行原则选择电动机功率。更换电动机时，需满足起动要求，更换后的运行效率必须大于更换前。当电动机负载变化不大，各种平均负载时推荐选用的电动机负载功率值见表8-9。

2. 电动机降压运行

如果电动机负载经常变化且长期处于轻载运行状态，此时可采用降压运行方式。当电动机运行电压低于额定电压5%左右时，可达到节能效果。当负载率低于30%时，若将△联结的绕组改为Y联结，节能效果可达5%～15%。

表 8-9　各种平均负载时推荐选用的电动机负载功率值

（单位：kW）

平均负载	Y(IP—44)系列			
	2 极	4 极	6 极	8 极
0.08	0.75	0.55	0.75	2.2
0.16	0.75	0.55	0.75	2.2
0.24	0.75	0.55	0.75	2.2
0.32	0.75	0.55	0.75	2.2
0.40	1.1	1.1	0.75	2.2
0.48	1.1	1.1	0.75	2.2
0.56	1.1	1.5	0.75	2.2
0.64	1.1	1.5	1.1	2.2
0.72	1.1	1.5	1.1	2.2
0.80	2.2	1.5	1.1	2.2
0.88	2.2	1.5	2.2	2.2
0.96	2.2	1.5	2.2	2.2
1.12	2.2	1.5	2.2	2.2
1.28	2.2	2.2	3	3
1.44	2.2	2.2	3	3
1.60	2.2	2.2	5.5	3
1.76	4	4	5.5	3
1.92	4	4	5.5	3
2.08	4	4	5.5	3
2.24	4	4	5.5	3
2.40	4	4	5.5	4
2.56	4	7.5	5.5	4
2.88	5.5	7.5	5.5	5.5
3.20	5.5	7.5	5.5	5.5
3.52	5.5	7.5	5.5	5.5
3.84	7.5	7.5	5.5	5.5
4.16	7.5	7.5	5.5	5.5
4.48	7.5	7.5	5.5	7.5
4.80	7.5	7.5	5.5	7.5
5.12	7.5	7.5	7.5	7.5
5.44	7.5	7.5	7.5	7.5
5.76	7.5	7.5	11	7.5
6.08	7.5	7.5	11	7.5
6.40	7.5	7.5	11	15
6.72	7.5	11	11	15

（续）

平均负载	Y(IP—44)系列			
	2 极	4 极	6 极	8 极
7.04	7.5	11	11	15
7.36	7.5	11	11	15
7.68	18.5	11	15	15
8.32	18.5	11	15	15
8.96	18.5	18.5	15	15
9.60	18.5	18.5	15	15
10.24	18.5	22	15	15
10.88	18.5	22	15	22
11.52	18.5	22	15	22
12.16	18.5	22	22	22
12.80	18.5	22	22	22
13.44	18.5	22	22	22
14.08	18.5	22	22	22
14.72	18.5	22	22	22
15.36	18.5	22	22	22
16.00	18.5	22	22	22
16.64	18.5	22	22	22
17.28	18.5	22	22	22
17.92	18.5	22	22	22
18.56	22	30	22	22
19.20	22	30	22	22
19.84	22	30	22	22
20.48	22	30	22	22
21.76	37	30	30	30
23.04	37	30	30	30
24.32	37	30	37	30
25.60	37	30	37	30
26.88	45	30	37	45
28.16	45	30	55	—
29.44	45	30	—	—
30.72	45	45	—	—
32.00	45	45	—	—
33.28	45	45	—	—
34.56	45	45	—	—
35.84	45	45	—	—
37.12	45	45	—	—

（续）

平均负载	Y(IP—44)系列			
	2 极	4 极	6 极	8 极
38.40	45	45	—	—
40.96	45	55	—	—
43.52	45	55	—	—
46.08	55	55	—	—
48.64	55	55	—	—
51.20	55	55	—	—
53.76	55	90	—	—
56.32	75	—	—	—
58.88	75	—	—	—
61.44	75	—	—	—
64.00	75	—	—	—
66.56	75	—	—	—
69.12	75	—	—	—
71.68	75	—	—	—
74.24	75	—	—	—
76.08	90	—	—	—

（1）降低电动机电源电压　在电路中串入饱和电抗器、自耦变压器及晶闸管调压装置等，前两种方法需设备体积较大，实际使用不多。晶闸管调压装置体积小，可实现无级调压，当配备闭环反馈控制时，电动机可在各种负载下高效运行。

（2）改变电动机内部接线　根据绕组类别及负载大小确定，改变电动机内部接线实现降压运行，见表 8-10。降压运行时应注意的是，降压幅度应适合负载大小；起动力矩应能满足要求；设备降压运行的控制力求简单易操作。

3. 电动机调速运行

交流电动机调速节电的主要方法有采用高效调速方式代替低效方式，例如对直流电动机，采用斩波技术代替电阻调速；对绕线转子电动机用串级调速代替转子串电阻调速；用变速调节代替风机、水泵类的阀门调节，通常可节能 20% ~30%。异步电动机各种调速方式的比较见表 8-11。

4. 电动机全压起动

相对于全压起动，减压起动对电网冲击较小、起动电流较小，但投资较大、故障率较高、起动转矩较小、起动时间较长，尤其是常用减压起动的电

动机，为使起动过程中转矩足够大，人为加大电动机功率，反而使电动机长期处于轻载状态。因此在条件许可时，优先用全压起动方式，提高负载率，降低设备故障率，降低电力消耗。

表 8-10　改变电动机内部接线实现降压运行

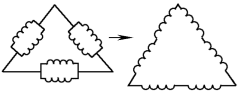
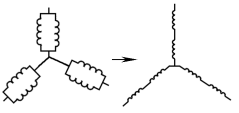
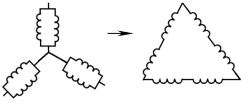
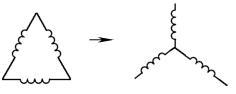
改变内部接线方式	接线示意图	电压及输出功率变化
双路并联绕组 改为单路串联绕组		电压降为原来的 1/2 功率降为原来的 1/4
并联双路星形绕组 改为单路串联星形绕组		电压降为原来的 1/2 功率降为原来的 1/4
双路星形并联绕组 改为单路串联绕组		电压降为原来的$\sqrt{3}/2$ 功率降为原来的 3/4
单路三角形绕组 改为星形绕组		电压降为原来的$\sqrt{3}/3$ 功率降为原来的 1/3

表 8-11　异步电动机各种调速方式的比较

调速方式	变级调速	交交变频	交直交变频	电磁离合器	转子串电阻	定子调压	串级调速	液力耦合器
输出功率/kW	0.75～200	500～1 500	2至数千	0.4～200	3.7至数千	1.5～150	数百至数千	30至数千
调速范围	1:3（有极）	1:100	1:20	1:10	1:2	1:10	1:3	1:5
转矩特性	恒转矩	恒转矩	恒转矩	恒转矩	恒转矩	恒转矩	恒转矩	恒转矩
功率因数	良	0.65～0.85（低速时较差）		0.8～0.9	0.8～0.9	0.6～0.7（低速时差）	0.6～0.75（低速时差）	0.8～0.9
设备费用	低	高		低	低	低	中	中
制动特性	—	再生制动		无	—	直流制动	无	—

选择起动方式时，必须考虑电源容量、负载特性、线路降压等，同时采用节电技术。一般工业电力设备允许瞬时压降 20%～25%；电动机空载和

负载时瞬时起动电流一样大；补偿电容可缓和电动机全压起动时对电网的冲击；起动电压降到额定电压65%时，起动转矩降为额定转矩的42%，故降压起动一般是全压起动时间的1.7～2.5倍。结合全压起动的优点，适当对负载率低的电动机进行调整，节电效果也非常明显。

5. 电动机的检修与节能改造

电动机检修时，应注意定子与转子的间隙及轴承磨损情况，检修后要进行性能试验，防止因检修而增加电动机损耗，表8-12列出了具体措施。

表8-12　检修时对电动机进行节能改造的措施

项目	主要方法
降低铜损	1. 采用耐高温、较薄的绝缘材料,增大槽内铜线填充系数 2. 减少绕组电阻,采用高导电率材料,适当扩大导线截面积
采用先进绕组型式	淘汰落后的绕组型式
采用先进的工艺	1. 对电动机绝缘清洗时,局部清洗,不需烘干的电动机可选用混合液清洗 2. 绝缘浸漆及烘干,采用无溶剂滴浸工艺和远红外加热烘干 3. 低压电动机采用B级绝缘材料
降低铁心损耗	1. 增加绕组匝数,增加导线截面积 2. 当出现槽满率过大时,采用复合槽楔,或采用磁性槽楔
降低通风和摩擦损耗	1. 采用节能型冷却风扇 2. 转子表面要求平滑,轴承采用摩擦因数小,性能好的润滑脂

六、电加热设备的节能

电加热设备除加热工件所需要热能外，热损失较大，包括炉体散热损耗、炉门辐射热损耗、炉气和炉渣余热损耗及炉体蓄热损耗等。

电加热设备本身的节能与结构设计、操作使用、管理有关，这里只涉及电气节能内容。

以电加热设备电炉电路改造为例，电弧炉、矿热炉等从变压器低压端至电炉电极这一段导线，称为电炉短网，长度一般为10m左右，由于冶炼时电流很大，所以损耗也很大，占传输总电量的9%～13%，必须降低短网的电能损耗。

1. 短网的组成

电炉短网由导电母线和电极组成，导电母线用铜材制成。根据电炉工艺操作及短网电气性能需要，母线可分为若干段，可用铜排或铜管。一般小容量电炉用铜排，大容量电炉用水冷铜管，与其他部分采用非磁性材料螺钉连

接。短网中的软连接，一般都采用铜芯电缆，容量大的电炉可用水冷电缆。

2. 短网的功率损耗

短网造成的功率损耗为

$$P = 3I^2R \tag{8-12}$$

式中 I——短网流过的电流（A）；

R——短网的有效电阻（Ω）。

短网有效电阻组成如下：

1）导体本身的有效电阻 R：

$$R = \rho_{20}(1 + \alpha\Delta t)\frac{L}{S}k_j k_e \tag{8-13}$$

式中 ρ_{20}——20℃时的电阻率，铜为 0.0175Ω · mm²/m；

α——导体的温度系数，铜为 0.004 3；

Δt——导体温度与 20℃环境温度的差值，（℃）；

S——导体的截面积，（mm²）；

L——导体的长度，（m）；

k_j——导体的集肤效应系数；

k_e——导体的邻近效应系数。

2）连接处接触电阻 R_j：

$$R_j = \frac{C}{P^m} \tag{8-14}$$

式中 C——与接触材料有关的系数；

P——接触压力；

m——指数。

实际中可直接测定 R_j。

3）附加电阻 R_f：其数值为导体有效电阻的 10% ~25% 。

短网的有效电阻计算为

$$R = \rho_{20}(1 + \alpha\Delta t)\frac{L}{S}k_j k_e + R_j + R_f \tag{8-15}$$

3. 短网的节能改造措施

（1）减少短网电阻　电炉变压器尽量靠近电炉；升高电炉变压器安装位置，各段短网处于同一平面；在保证电极升降和炉体转动需要的前提下，尽量减少短网电缆长度。

（2）减少接触电阻　牢固焊接、增大接触面积，处理不拆卸的连接部

位，加工接触面，保持足够接触压力。运行时定期检测接触温度，及时发现接触面温度升高现象，设法排除检修后再次测定接触电阻，保证接触面符合要求。

（3）减少短网周围的铁磁物质　短网交流电很大，铁磁物质产生交变磁场，产生涡流及磁滞损耗，引起短网的附加损耗。应采用非磁性材料固定螺钉，避免用铁磁材料包围短网导体。

（4）采用水冷短网　温度升高导致电阻增加，短网损耗增大。可用水冷方法降低短网工作温度，减少电能损耗。对软电缆甚至短网全部导线母线均可采用水冷。

（5）改变短网的布线方式　图 8-1 为改造前的布线方式，此时产生的电感较大。若改造为图 8-2 所示电路，将短网改为双线布线，可减少短网电抗，提高运行功率因数，降低短网压降，提高电炉内电极电压，增加电炉熔化功率，缩短熔化时间，节电效果较好。

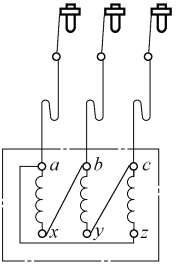


图 8-1　改造前短网布线方式

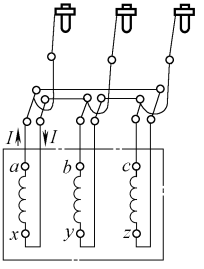


图 8-2　改造后短网布线方式

七、照明装置的节能

1. 合理选择灯具

（1）节能灯　节能灯的尺寸、灯座接口与传统白炽灯相近，可直接替换白炽灯。节能灯是稀土三基色紧凑型荧光灯，此光源在达到同样光能输出时，只需普通白炽灯用电量的 1/5 ~ 1/4，节能效果显著。

1）U 形管节能灯。管形有 2U、3U、4U、5U、6U、8U 等，3 ~ 240W 多种规格。2U、3U 节能灯的管径为 9 ~ 14mm，功率为 3 ~ 36W，主要用于民用和一般商业环境照明；4U、5U、6U、8U 的管径为 12 ~ 21mm，功率为 45 ~ 240W，主要用于工业、商业环境照明，直接替代高压汞灯、高压钠灯、T8 直管型荧光灯。

2）螺旋管节能灯。螺旋环圈用 T 表示，常有 2T、2.5T、3T、3.5T、4T、4.5T、5T 等多种，功率为 3 ~ 240W。

3）支架节能灯。T5、T4 直管型节能灯，功率分为 8W、14W、21W、28W，用于民用、工业、商业环境照明，直接替代 T8 直管型荧光灯。T 表示灯管直径，每一个 T 为 1/8in，T8 灯管直径为 25.4mm。理论上灯管越细效率越高，但灯管越细启动越困难，因此，T5 及以下灯管必须采用电子镇流器启动。

节能灯的特点如下：

1）光效高。即发光效率，指光源所发出光通量与所消耗电功率之比，用每瓦流明数或 lm/W 表示，紧凑型荧光灯与普通灯泡相比，发光效率可提高 5～6 倍，如 11W 节能灯光通量相当于 60W 普通白炽灯。

2）寿命长。寿命是指成品灯从点燃至“烧毁”或灯工作至低于标准中寿命性能任一要求时的累计时间，普通白炽灯额定寿命为 1000h，紧凑型荧光灯寿命为 5000h，主要取决于灯管寿命和电子镇流器寿命。

① 灯管寿命。取决于材料、制造工艺、制造设备、质量控制等，原材料是关键。

② 电子镇流器寿命。约由 30 个元器件组成，质量可靠、控制工艺、参数适配。

3）显色好。不同光源会显示不同光颜色，用显色指数测定，范围为 0～100。白炽灯颜色显色指数为 100。显色指数越高，照射下物体的颜色反映就越真实。一般而言，光显色指数大于 75，就能真实地反映出物体的颜色。紧凑型荧光灯采用稀土三基色荧光粉，显色指数在 80 左右，比普通荧光灯显色性显著提高。

4）体积小。紧凑型荧光灯功率负载高，体积小巧，有装饰作用。紧凑型荧光灯集荧光灯节电、长寿命、白炽灯体积小、显色好、使用简便。

5）工作电压。指节能灯工作时所需的电压，我国是 220V，频率 50Hz。节能灯的工作电压范围为 −20% ～ +10%，即 176～242V 正常工作。

6）功率。分为实际功率和标识功率，国家标准规定，实际功率不小于标识功率的 85%。

（2）LED 灯　即发光二极管，在结构、发光原理与传统白炽灯有本质不同。发光二极管是由数层很薄的掺杂半导体材料制成，一层带过量电子，另一层是带正电空穴，当有电流通过时，电子和空穴相互结合释放出能量，辐射出光。

1）节能环保。LED 光源能量转化效率很高，只有白炽灯 10% 的能耗，与荧光灯相比，节能率达 50%。LED 光源环保节能，色彩饱和度更高。

2）寿命长。正常情况下使用 LED 灯，其光衰可减到 70% 的标称寿命是 10 万 h。

3）光色纯正。典型 LED 灯光谱比较窄，不像白炽灯那样拥有全光谱。因此 LED 灯可随意多样化的搭配组合，适用于装饰等。

4）防潮、抗振动。LED 灯外部多采用环氧树脂保护，密封性能和抗冲击性能很好，可用于水下照明。低热量、小型化、响应时间短。

2. 合理选择光源

选择光源应合理分配光源辐射的光通量，满足环境和配光要求，不产生眩目现象和严重的光幕反射。电光源按发光原理有热辐射电光源，如白炽灯、卤钨灯等；气体放电光源，如汞灯、钠灯、氙灯、金属卤化物灯等；电子辐射发射能量光源，如 LED 灯泡。发光效率有较大差异，气体放电光源比热辐射电光源高得多。用气体放电光源替代热辐射电光源，逐步选用光效高的气体放电光源。LED 灯泡具有显著的节能、安全特点。

高压钠灯光效是白炽灯的 8 ~ 10 倍，寿命长、特性稳定、光通维持率高，适合于在显色性要求不高的道路、广场、码头和室内高大的厂房和仓库等场所。

金属卤化物灯光效高、显色性好、功率大，适用于剧院、总装车间等大面积照明场所。

荧光灯比白炽灯节能 70%，适用于办公室、宿舍及高度低于 5m 的车间等。紧凑型荧光灯发光效率比普通荧光灯高 5%，细管型荧光灯比普通荧光灯节电 10%。节能灯和 LED 灯适合办公场所、家庭等。

开闭频繁、面积小、照明要求低时，可采用白炽灯。双螺旋灯丝型白炽灯比单螺旋灯丝型白炽灯光通量增加 10%。可根据需要优先选用。各种光源的光效、显色指数、色温和平均寿命等技术指标见表 8-13。

表 8-13　各种光源的光效、显色指数、色温和平均寿命等技术指标

光源种类	光效/(lm/W)	显色指数	色温/K	平均寿命/h
普通照明	15	100	2 800	1 000
卤钨灯	25	100	3000	2 000 ~ 5 000
普通荧光灯	70	70	全系列	10 000
三基色荧光灯	93	80 ~ 98		12 000
紧凑型荧光灯	60	85		8 000
高压汞灯	50	45	3 300 ~ 4 300	6 000
金属卤化物灯	75 ~ 95	65 ~ 92	3 000/4 500/5 600	6 000 ~ 20 000
高压钠灯	100 ~ 200	23/60/85	1 950/2 200/2 500	24 000
低压钠灯	200	—	1 750	28 000
高频无极灯	55 ~ 70	85	3 000 ~ 4 000	40 000 ~ 80 000

由表 8-13 可知，低压钠灯光效最高，主要用于道路照明；其次是高压钠灯，主要用于室外照明；再次金属卤化物灯，室内外均可应用，一般低功率用于室内层高不太高的房间，大功率应用于体育场馆，以及建筑夜景照明等；再次为荧光灯，在荧光灯中尤以三基色荧光灯光效最高；高压汞灯光效较低；卤钨灯和白炽灯光效更低。

3. 合理选用照度

按照国家标准《建筑照明设计标准》（GB 50034—2013）选择。

（1）工作面照度高于规定值　生产车间若长时间有人活动，一般照明照度不小于 30lx，若需连续长时间紧张视觉工作，或是识别对象在活动、识别时间短而辨认困难时，需要比普通情况更高一级的照度。

（2）家庭照明　一般卧室照度选择为 20 ~ 30lx，卫生间、通道取 5 ~ 10lx，厨房取 8 ~ 20lx。

（3）混光照明　需混光照明时，一般照明按总照度的 10% 左右选取，但不低于 20lx。一般照明与局部照明的照度比应取 1/5 ~ 1/3，否则易产生眩光。

（4）其他　次要道路和露天堆场的照度不小于 0.5lx；为防止炫目，因尽量不用裸灯泡或无保护角灯具；在小视角范围内工作时，适当提高照度；尽量避免照度分布不均，频繁接受亮暗变化的光会导致视觉疲劳。一般室内最低照度均匀度不小于 0.7。

4. 合理选择照明控制系统

将自动化技术用于照明控制，如光照传感技术、照明定时控制、亮度控制等。减少开灯时间、开灯数量和过高照度；充分利用天然光，并根据天然光照度变化，决定电气照明的范围；公共场所照明、室外照明，采用集中控制管理装置；采用各种照明节能的控制设备或器件，包括光传感器、热辐射传感器、时间程序控制、直接或遥控调光、采用传输效率高使用寿命长电能损耗低的配线器材。

第九章　接地与电磁兼容防护技术

第一节　接地的一般概念

一、概述

1. 接地含义

接地是指在系统与某个电位基准之间建立低电阻通路。电子设备的“地”有两种含义，一种是真正接“大地”，是零电位，将电子设备金属外壳、电路基准点与大地相连，保护设备和人员安全，如保护接地、防雷接地等，称为“安全地”；另一种是“系统基准地”，如弱电系统并不真正接大地，为提高系统稳定性、屏蔽保护性、增强系统电磁兼容性，必要时也接“大地”，称为“信号地”。

电力行业标准规定，接地是将电力系统或建筑物中电气装置或设施的某些导电部分，经接地线连接至接地极；电气控制系统中，对接地也有专门的要求与标准。接地是线路电压参考点，是机柜或机架，是安全地线或接大地，是电流返回其源的低阻抗通道。

2. 接地符号

常用接地符号有：PE，PGND，FG—保护地或机壳；BGND 或 DC-RETURN—直流-48V（+24V）电源（电池）回流；GND—工作地；DGND—数字地；AGND—模拟地；LGND—防雷保护地。

3. 接地功能

电子设备和电子系统的接地表面电位被看作零电位，作为各种电压信号的基准；接地表面用作各种信号电路电流的回流通道，接地平面也作为电源回路的一部分（零电位），还作为电源强电流返回通道；接地配合各种屏蔽系统，容纳各种频率干扰电流的信道；作为零电位基准，连接裸露的设备金属外壳，保护人员安全。

4. 接地原则

1）电路中接地导线及公共母线阻抗最小、自感最小。接地线长度尽量短，比波长小得多，实际中接地导线长度 $l_e \ll 0.02\lambda$。

2）接地线截面形状应选取管形，全阻抗最小。

3）接地线电气连接质量严格，连接牢固，防氧化，保证接触电阻最小。还要防止连接处发生氧化，防止发生非线性效应，接地线要单独放线。

4）接地方式有单独接地、共同接地、串联接地。

二、工作接地

工作接地是指将电力系统的某点（如中性点）直接接大地，或经消弧线圈、电阻等与大地金属连接，如变压器、互感器中性点接地、两线一地系统的一相接地等。

1. 工作接地的作用

（1）系统运行需要　高压系统采取中性点接地可使接地继电保护装置准确动作并消除单相电弧接地过电压。中性点接地可防止零序电压偏移，保持三相电压基本平衡，对低压系统可方便地使用单相电源，两线一地供电系统中，将一相工作接地，降低成本。

（2）降低人体接触电压　中性点绝缘系统中，当一相接地，且人体触及另一相时所受到的接触电压将超相电压而成为线电压，即相电压的$\sqrt{2}$倍。当中性点接地时，中性点接地电阻近于零，与地间电位差近于零，这样就降低了人体的接触电压。

（3）迅速切断故障设备　中性点绝缘系统中，当一相短路时接地电流很小，保护装置不能迅速切断电流。中性点接地时，一相接地电流成为很大的单相短路电流，保护装置必须能准确、迅速切断故障线。

（4）降低设计绝缘等级　因中性点接地系统中一相接地时，其他两相对地电压不升高至相电压的$\sqrt{2}$倍，而是近于相电压，在中性点接地系统中，设计电气设备和线路时绝缘水平只按相电压考虑，降低成本。

2. 工作接地的种类

（1）信号地　各传感器和信号源零电位的公共基准地线，信号弱，故对信号地要求较高。

（2）模拟地　模拟电路零电位的公共基准地线，模拟电路承担小信号放大和信号功率放大，包括低频和高频放大，模拟电路易被干扰又是干扰源。因此，对模拟地接地点的选择和敷设要求较高。

（3）数字地　数字电路零电位的公共基准地线，数字电路工作在脉冲状态，如脉冲前后沿较陡或频率较高时，易对模拟电路产生干扰，接地点选择和敷设要求较高。

（4）电源地　电源零电位的公共基准地线，给系统各单元供电，因性质和参数差别大，必须保证电源及受电单元稳定可靠。

（5）功率地　负载电路或功率驱动电路的零电位公共基准地线，电流大、电压高，干扰大，必须与其他弱电地分别设置。

（6）屏蔽接地　屏蔽与接地应当配合使用，才能起到屏蔽作用，如静电屏蔽、交变电场屏蔽。

三、保护接地

电气装置金属外壳、配电装置构架和线路杆塔等的绝缘损坏后可能带电，为防止人身和设备安全而接地。此时分为接地保护和接零保护，因使用环境不同，需选择使用。

因配电系统分为 TT 和 TN 系统。其中，TT 系统适用公用低压电力网，属于保护接地中的接地保护方式；TN 系统适用于公用低压电力网和厂矿企业专用低压电力网，属于保护接地中的接零保护方式。

1. 接地保护

将正常情况下不带电，而在绝缘材料损坏后或其他情况下可能带电的电器金属部分用导线与接地体可靠连接。一般用于配电变压器中性点不直接接地三相三线制的供电系统，保证电气设备漏电时产生的对地电压不超过安全范围，见图 9－1。某一系统中，如公用配电网络是 TT 系统，则应统一接地保护。接地保护系统只有相线和中性线，三相动力负荷可不需要中性线，只确保设备良好接地，中性线除电源中性点接地外，不得再次接地。

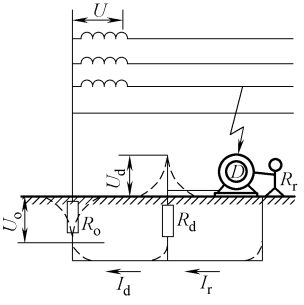


图 9-1　接地保护

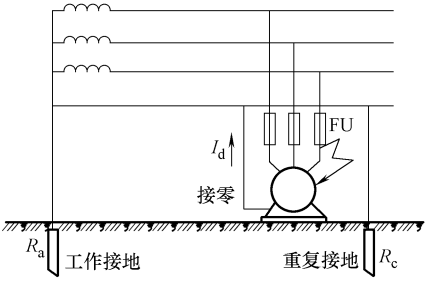


图 9-2　接零保护

2. 接零保护

1kV · A 以下调压器中性点直接接地的电网中，一切电气设备正常情况下不带电的金属外壳及其相连接的金属部分与零线作可靠电气联接。要求任何情况，必须确保有保护中性线，还可将保护中性线与接零保护线分开，同时系统中的保护中性线必须具有多处重复接地，见图 9-2。如公用配电网络

是 TN-C 系统，则应统一采取接零保护。

四、防雷接地

防雷接地是指利用雷电保护装置如避雷针、避雷线和避雷器等向大地泄放雷电流的接地。

（1）避雷针保护　又称为接闪器，是建筑物和设施预防直击雷的装置，发生雷电时将闪电引向自身，流入大地。根据相关标准，单棒型避雷针用几何原理的滚球法确定保护范围。

图 9-3 中 h 为避雷针离地面的高度（m），$h < h_S$；h_S为滚球半径（m）；h_X为被保护物体的高度（m）。

以 P_X点为圆心，以 h_S为半径作圆弧，若同时满足圆弧与地面相切又与避雷针顶尖 Q 相交，那么圆弧与 h_X等高线 XP 相交于 X'点，可决定避雷针在 h_X等高平面上的保护半径 r_X。存在下列几何关系，即

$$\sqrt{h_S^2-(h_S-h_X)^2}=X'P$$

由于
$$\sqrt{h_S^2-(h_S-h)^2}=CP_X$$

所以
$$r_X=CP_X-X'P$$

$$r_X=\sqrt{h_S^2-(h_S-h)^2}-\sqrt{h_S^2-(h_S-h_X)^2}$$

即
$$r_X=\sqrt{h(2h_S-h)}-\sqrt{h_X(2h_S-h_X)} \tag{9-1}$$

雷电下行先导以最短路径向地面目标放电的距离称为闪击距离，就是滚动球面的半径即保护范围。用简化经验公式表达为

$$r_X=kI^p=10I^{0.65} \tag{9-2}$$

式中，I 为雷电峰值电流（kA）；$k=10$，$p=0.65$。

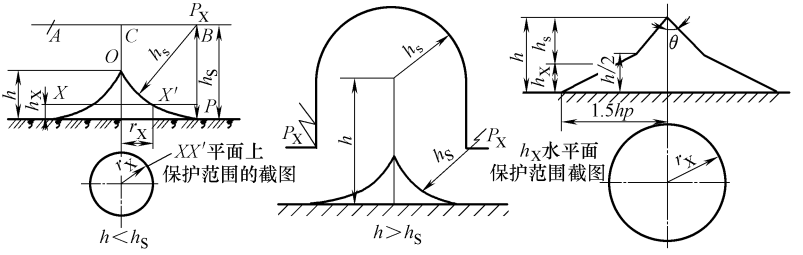
若雷电流峰电值不小于电流 I 的累积概率函数为 P，则被保护物在此空间内可能遭受累积的概率函数及经验公式为

$$\lg P=-\frac{I}{108} \tag{9-3}$$

若雷电概率 $P=95\%$，则 $r_X=17.7\text{m}$，$I=88\text{A}$。

根据几何作图，避雷针离地面高度 $h=r_X$后，再增加高度，保护区范围不会再扩大，见图 9-3b）的保护范围。

（2）保护范围　雷电峰值电流 I 是个随机变量，雷电保护范围也是个随机变量。雷电流受气象条件、地质、地形等影响，雷电流数据差距较大，雷电流概率函数也不同。我国各行业统计与归纳了许多经验和公式。如《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T620—1997），在避雷针离地面



a) 滚球法的避雷针保护范围　　b) DL/T620的避雷针保护范围

图 9-3　避雷针的保护范围

高度 $h \leqslant 30$m 保护范围，可靠性达到 0.999，后将 h 提高至 120m。

单棒型避雷针在地面上的保护半径可以用如下简化经验公式表示为

$$r_X = 1.5hp \tag{9-4}$$

式中　h——避雷针高度（m）；

p——高度修正系数。

一般地，$h \leqslant 30$m 时，$p=1$；$30\text{m} < h \leqslant 120\text{m}$ 时，$p = 5.5/\sqrt{h} < 1$。

单棒型避雷针在被保护物高度 $h_X \geqslant 0.5h$ 时，水平面上保护半径可分别用简化经验公式表示为

$$r_X = (h - h_X)p \tag{9-5}$$

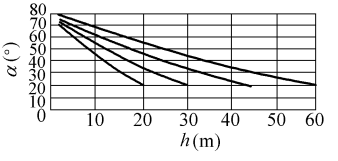
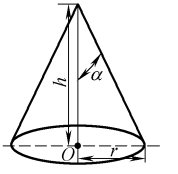
$h_X < 0.5h$ 时，有：

$$r_X = (1.5h - 2h_X)p \tag{9-6}$$

（3）避雷针材料　避雷针宜用圆钢或钢管制成，针长不超过 1m 时，圆钢 ϕ12mm、钢管 ϕ20mm；针长为 1～2m 时，圆钢 ϕ16mm、钢管 ϕ25mm。

避雷针装置和保护角、雷电流参数之间的关系见表 9-1。

表 9-1　避雷针装置和保护角、雷电流参数之间的关系

保护级别、滚球半径、保护角和网孔参数			
雷击保护级别	滚动球面半径 r/m	保护角 α(°)	α、r、k 之间的几何关系
Ⅰ	20		
Ⅱ	30		
Ⅲ	45		
Ⅳ	60		

（续）

保护级别、滚球半径、保护角和网孔参数		雷电流参数		
网孔宽度/m	效率	峰值电流/kA	脉冲放电电荷量/C	单位能量/(MJ/Ω)
5×5	98%	200	100	10
10×10	95%	200	100	10
15×15	90%	150	75	5.6
20×20	80%	100	50	2.5

第二节　电气设备的接地

一、接地要求

电气设备某个部分与大地的电气连接即接地，与大地土壤直接接触的金属导体或金属导体组称为接地体，连接电气设备与接地体的金属导体称为接地线，接地体和接地线统称接地装置。

1. 通用要求

1）中性点接地的低压系统中，必须建立保护接地网，与变压器中性点连接成一体。接地网应在不同方向与接地体相连，连接处不少于2个。

2）从变压器中性点接地体引出的中性线，每隔1km必须重复接地1次；罐区、泵房等爆炸危险区域前，必须重复接地1次。

3）1级区域的电器设备、仪表、灯具等的线路及2级区域内除照明灯具以外的其他电气设备，必须专用接地，与保护接地网相连。爆炸性气体环境的金属管线、电缆的钢带保护层，只能作辅助接地线。

4）2级区域内的照明灯具可利用穿线钢管作为接地线，与保护接地网相连，但不得用油品工艺管道、通风管道、金属容器等作为保护接地线。

5）铠装电缆引入电气设备时，内部接地线与设备内接地螺栓相连，钢带保护层作辅助接地与设备外接地螺栓相连，钢带另一端必须可靠接地。

6）爆炸危险区域电气设备接地系统中接地体不得与防直击雷接地体共同设置，且两者之间距离不小于3m。

7）对阀门、机泵、设备、管道等局部检修时，如造成有关物体电气接地短路或破坏等现象时，应事先做好临时性接地，检修完毕后，及时恢复。

8）当采用漏电开关作为相线漏电接地保护时，被保护的电气设备外壳应作单独接地。

2. 接地范围

1）所有电气设备金属外壳部分必须可靠接地，如变压器、电动机、电

气设备、防爆电器、电气成套设备、操作台的底座、外壳等。

2）受到杂散电缆、中性线电流等影响，可能发生跳火危险的非电气设备，也要可靠接地，如泵房管组、工艺设备、钢栈桥、输油管、金属油罐等。

3. 对接地电阻的要求

接地极或自然接地极的对地电阻和接地线电阻的总和，即为接地装置的接地电阻，包括电气设备和接地线的接触电阻；接地线与接地体本身的电阻；接地体和大地的接触电阻；大地电阻。

不同电气设备对接地电阻要求不同，大接地短路电流系统 $R\leqslant 0.5\Omega$；100kV·A 以上变压器或发电机 $R\leqslant 4\Omega$；阀型避雷器 $R\leqslant 5\Omega$；独立避雷针、小接地电流系统、100kV·A 以下变压器或发电机、高低压设备共用接地 $R\leqslant 10\Omega$；低压线路金属杆、水泥杆及烟囱接地 $R\leqslant 30\Omega$；独立防雷保护接地 $R\leqslant 10\Omega$；独立安全保护接地 $R\leqslant 4\Omega$；独立交流工作接地 $R\leqslant 4\Omega$；独立直流工作接地 $R\leqslant 4\Omega$；防静电接地通常 $R\leqslant 100\Omega$。接地电阻理论上要小，但应综合考虑效果与成本，目前也倾向于不追求接地电阻阻值小，而是接地线布置更加合理。一般电子设备工作接地电阻选用范围见表 9-2。该参数值适用于大型复杂电子设备。

表 9-2　一般电子设备接地电阻选用范围

设备种类	军　　用	民　　用
固定设备	≤1Ω	≤4Ω
机动设备	≤4Ω	≤10Ω

电气设备接地电阻应在每年春、秋雨水较少时各测量 1 次，用专门仪表测试，也可用电流表－电压表法测试。检查内容包括联接螺栓是否松动、锈蚀；地面以下接地线、接地体腐蚀情况，是否脱焊；地面的接地线有无损伤、断裂、腐蚀等。

二、接地装置

接地体也称为接地极，是埋入地中直接与大地接触的金属导体，分为水平和垂直接地体；自然接地体可利用直接与大地接触的金属构件、金属井管、钢筋混凝土建筑基础、金属管道和设备等；接地线是电气设备、杆塔的接地端子与接地体或零线连接用的在正常时不载流的金属导体。图 9-4 是常见接地装置。

1. 接地装置要求

接地线一般用 40mm×4mm 的镀锌扁钢，接地体用镀锌钢管或角钢，钢

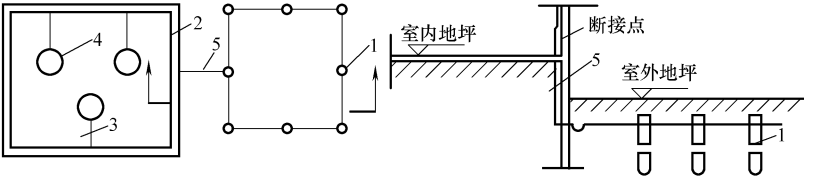


图 9-4　常见接地装置

1—接地体　2—接地干线　3—接地专线　4—电气设备　5—接地引下线

管直径为 50mm，管壁厚不小于 3.5mm，长度 2～3m，角钢 50mm×50mm×5mm；接地体的顶端距地面 0.5～1m，避开冻土层，钢管或角钢的根数视接地体周围的土壤电阻率而定，一般不少于 2 根，每根间距 3～5m；接地体距建筑物距离大于 1.5m，与独立避雷针接地体距离大于 3m；接地线与接地体连接应使用搭接焊。

2. 接地装置设置

（1）埋设地点选择　接地装置应埋设在距建筑物或人行道超过 3m；接地装置不得靠近烟道等热源，防止土壤干燥电阻率升高；接地装置要避开强腐蚀性土壤；埋设位置不得妨碍其他设备的检修。

（2）人工接地体的埋设　宜用垂直接地体，一般选 40mm×40mm×4mm 或 50mm×50mm×5mm 的镀锌角钢，长度 2～3m，一端加工成尖头状。垂直安装时将接地体打入地下，与地面尽量垂直，减小电阻。有效深度大于 2m，各接地体间距离大于 2 倍长度。接地体打入地下后，留出 0.1～0.2m 露头，将便于接地线焊接。除接地体外，垂直接地体露头和焊接部位应作防腐处理；露头部分不应埋在建筑材料或较强腐蚀性物质中；应设立标识桩。

（3）接地线的安装及敷设　每个电气装置接地应单独接地；接地线应使用整段导线，截面积足够大，考虑机械强度及接地效果，选用截面积不小于 $10mm^2$ 的多股铜芯导线，截面积不小于相线截面积的 1/2，所有接地线采用裸线。所有接地线统一选用黄绿相间的标识或条纹；设备接地点设置标识牌。

（4）变（配）电所接地装置　接地装置接地体应水平敷设，接地体采用长度 2.5m、直径不小于 12mm 的圆钢或厚度不小于 4mm 的角钢或厚度不小于 4mm 的钢管，并用截面积不小于 25mm×4mm 的扁钢相连接为闭合环形，外缘各角要做成弧形；接地体应埋设在变（配）所墙外，彼此相距不

小于3m，接地网埋设深度超过当地冻土层厚度，埋入深度不小于0.6m；变（配）电所主变压器的工作接地和保护接地，分别与人工接地网相连接；避雷针（线）宜设独立的接地装置。

（5）易燃易爆场所电气设备接地　易燃易爆场所电气设备、机械设备、金属管道和建筑物的金属结构均应接地，并在管道接头处敷设跨接线；1kV以下中性点接地线路，当线路过电流保护为熔断器时，保护装置动作安全系数不小于4，断路器时动作安全系数不小于2；接地干线与接地体连接点不小于2个，在建筑物两端分别与接地体相连接。

（6）直流设备的接地　不能利用自然接地体作为PE线或重复接地的接地体和接地线，也不能与自然接地体相连接；直流系统的人工接地体厚度不小于5mm，并要定期检查侵蚀情况。

（7）手持式、移动式电气设备的接地　采用软铜线接地，截面积不小于1.5mm^2。接地线与电气设备的连接应用螺栓或专用夹具，符合短路电流作用下动、热稳定要求；机动性电子设备接地电阻可选30Ω左右。对雷电保护接地电阻小于10Ω。

（8）接地装置的连接　接地线与埋于地下的接地体连接时，必须采用焊接连接，并进行防腐处理。接至电气设备的接地线，应采用镀锌螺栓连接。

（9）特殊用电设备的接地　通信等设备的接地分为信号接地、功率接地和保护接地，除特别规定外接地电阻小于4Ω，采用一点接地；控制系统计算机接地分为直流、交流和安全保护接地，接地电阻小于4Ω。降低土壤电阻率的具体方法如下：

1）改变接地土壤结构。接地体周围的土壤2～3m内，掺入不溶于水、有良好吸水性的物质，如木炭、焦炭煤渣或矿渣等，可降低电阻率。

2）食盐、木炭降低电阻率。木炭以及土、水、盐混合的浆土，配比为1∶(1～2)∶0.2，用食盐、木炭分层夯实，木炭和细掺匀为一层，10～15cm厚，再铺2～3cm的食盐，共5～8层。铺好后打入接地体。这样可使电阻率降至原来的1/15～1/13，需两年补充一次。

3）化学法降低电阻率。用长效化学法降低土壤电阻率降至原来的40%，如在电介质的水溶液中加入滞留剂，在地桩周围形成凝胶状或固体物质，降低电阻率长期有效，配方为：氧化钾0.8kg＋聚乙烯醇溶液4.0kg＋氧化镁1.0kg＋聚乙烯醇0.44kg＋硫酸氢钠0.4kg＋尿素0.88kg＋尿醛树脂4.0kg＋水2.7kg。

3. 接地装置维护

使用过程中接地装置一般不需要进行大修，每年定期进行检查、维护更换即可。对储油罐、输油管道等防静电接地，每月进行 1 次外观检查，确保接触良好；对所有部位防静电接地应每半年检测 1 次，设备大修、检修前或工程完毕后应及时检测，包括接线连接牢固、跨接部位完好有效、连接螺柱是否齐全牢固；接地体设置符合规范，接地电阻值达到规范要求；接地体不能锈蚀；手持式、移动式电气设备的接地线在每次使用前要进行检查；各种防雷装置的接地装置的每年在雷雨季节检查 1 次；对高阻区可采用换土、添加降阻剂、深埋接地体等方法。

第三节　低压配电系统的接地

根据《电压配电设计规范》，低压配电系统接地形式有 IT 系统、TT 系统、TN 系统。其中，第一个字母表示电源端与地的关系，T 表示电源端有一点直接接地，I 表示电源端所有带电部分不接地或有一点通过阻抗接地；第二个字母表示电气装置的外露可导电部分与地的关系，T 表示电气装置的外露可导电部分直接接地，此接地点在电气上独立于电源端的接地点；N 表示电气装置的外露可导电部分与电源端接地点有直接电气连接。

1. IT 系统

电源不接地或通过阻抗接地，电气设备外壳可直接接地或通过保护线接至单独的接地体，见图 9-5。IT 系统可有中性线。需要特别说明的是，IEC 强烈建议不设置中性线，因为如设置中性线，在 IT 系统中 N 线任何一点发生接地故障，该系统就不再是 IT 系统了。IT 系统中，连接设备外露可导电部分和接地体的导线就是 PE 线。

采用 IT 方式供电系统，电源中性点不接地，相对接地装置基本没有电压，电气设备的相线碰壳或设备绝缘损坏时，单相对地漏电流较小，不会破坏电源电压平衡，一定条件下比电源中性点接地的系统供电可靠；在供电距离不很长时，供电的可靠性高、安全性好。一般用于连续供电要求场合，如医院手术室、地下矿井、炼钢炉、电缆井照明等。

如 IT 方式供电距离很长，电气设备相线碰壳或设备绝缘损坏而漏电时，供电线路对大地分布电容会产生电容电流，此电流经大地形成回路，电气设备外露导电部分形成接触电压；TT 方式供电系统的电源接地点一旦消失，即转变为 IT 方式供电系统，三相、二相负载可继续供电，但会造成单相负载中电气设备的损坏；如消除第一次故障前，又发生第二次故障，如不同相

的接地短路，故障电流很大，非常危险，因此对一次故障探测报警设备的要求较高，能及时消除和减少出现双重故障，保证 IT 系统的可靠性。

2. TT 系统

电源中性点直接接地、用电设备外露可导电部分与大地直接连接。TT 系统为工作接地，设备外露可导电部分接地为保护接地。

TT 系统中这两个接地必须相互独立，专用保护线 PE 和工作中性线 N 分开，没有电的联系。正常运行时，PE 线没有电流，中性线 N 可以有电流。TT 系统中负载的所有接地均称为保护接地，见图 9-6。设备接地可以每一设备都各自独立接地，也可若干设备共用一个接地装置。

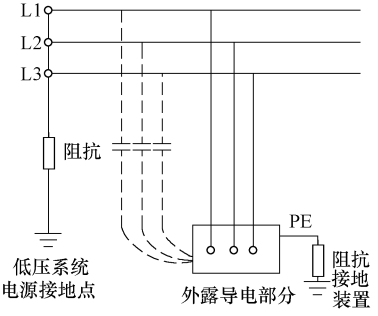


图 9-5　IT 系统

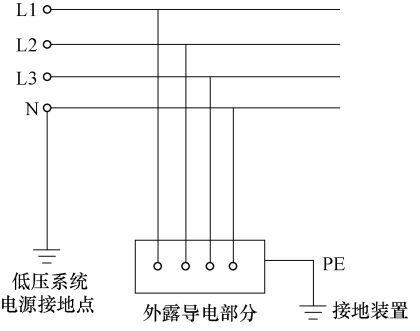


图 9-6　TT 系统

TT 供电系统中当电气设备的相线碰壳或设备绝缘损坏而漏电时，由于有接地保护，可减少触电的危险性；电气设备的外壳与电源的接地无电气联系，适用于对电位敏感的数据处理设备和精密电子设备；故障时对地故障电压不会蔓延。

短路电流小，发生短路时，短路电流保护装置不会动作，易造成电击事故；受线路零序阻抗及接地处过渡电阻的影响，漏电电流比较小，低压断路器不一定能跳闸，会造成漏电设备外壳对地产生的电压高于安全电压，一般需设漏电保护器作后备保护；由于用电设备均需单独接地，TT 系统接地装置分散、耗材多、施工复杂。TT 供电系统在农村电网应用较多，是电源出口处漏电保护器频繁动作的主要原因；如工作中性线断线，电气设备电压升高，成批电器设备可能会损坏。按照《架空绝缘配电线路设计技术规程》（DL/T 601—1996）规定，中性点直接接地低压绝缘线的中性线，应在电源点接地。在干线和分支线的终端处，应将中性线重复接地。三相四线供电的

低压绝缘线在引入用户处，应将中性线重复接地。

3. TN 系统

将电气设备外露导电部分与工作中性线相接的保护系统。当电气设备的相线碰壳或设备绝缘损坏漏电时，实际上产生了单相对地短路，理想状态下电源侧熔断器会熔断，低压断路器会跳闸使故障设备断电，产生危险接触电压时间短，比较安全；TN 系统节省材料、工时，应用广泛；根据 IEC60364 规定，TN 方式供电系统中分为 TN-C、TN-S 和 TN-C-S 三种。

（1）TN-C 方式　PE 线与 N 线合一，称为 PEN 线，见图 9-7。这种方式易实现，节省导线，且保护电器可节省一极；发生接地短路故障时，故障电流大，可用过电流保护电器瞬时切断电源，保证安全。该方式线路中有单相负荷、三相负荷不平衡或电网中有谐波时，由于 PEN 线中有电流，电气设备外壳和线路金属套管间有压降，对敏感电子设备不利；PEN 线中电流可能在易爆场合有危险；PEN 线断线或相线对地短路时，会出现很高的对地故障电压；TN-C 系统电源处使用漏电保护器时，接地点后工作中性线不得重复接地，否则无法可靠供电。

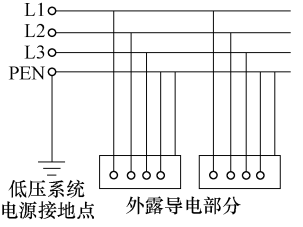


图 9-7　TN-C 方式

（2）TN-S 方式　PE 线和 N 线严格分开，见图 9-8。正常时即使 N 线上有不平衡电流，PE 线也不会有电流，适于数据处理和精密仪器，能用于易爆场合；住宅家用电器有单独接地，用 TN-S 系统，方便安全；如回路阻抗高或电源短路容量较小，需用剩余电流保护装置；供电干线上可安装漏电保护器，但 N 线不得有重复接地。PE 线可重复接地，但不可接入漏电开关。由于增加了中性线，初期投资较高；TN-S 系统相对地短路时，对地故障电压较高。

（3）TN-C-S 方式　如前部分是 TN-C 方式，考虑安全，二级配电箱出口处，分别引出 PE 线及 N 线，在后部分二级配电箱后用 TN－S 方式，见图 9-9。中性线 N 与 PE 线相联，PE 线没有电流，正常运行不产生压降；联通前段线路不平衡电流较大时，后面 PE 线电气设备外壳会有接触电压。因此，可降低电气设备外露部分对地的电压。虽然联通可降低设备外露部分对地电压，但不能完全消除。电压大小取决于联通前线路不平衡电流及联通前线路的长度。因此负载不平衡电流不能太大，PE 线应作重复接地；如 PE 线

重复接地，则只能在线路末端设立漏电保护器；对要求 PE 线除了在二级配电箱处必须和 N 线相接以外，其后各处 PE 线和 N 线不能相联，PE 线上不能安装开关和熔断器；民用建筑普遍有 N 线和 PE 线，TN-C-S 系统实际成了 TN-C 系统，会产生危险接触电压。

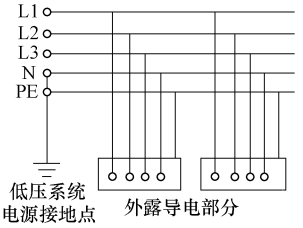


图 9-8　TN-S 方式

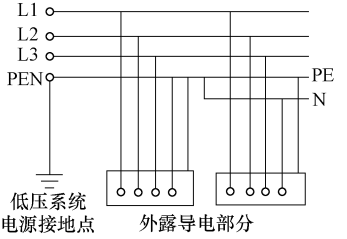


图 9-9　TN-C-S 方式

第四节　其他设备的接地

一、电子设备的接地

1. 接地方式

为保护人体、设备安全和抑制干扰，电子设备必须接地。设备外壳金属件直接连接大地，可防静电积累；连接系统基准地可给电源和传输信号提供基准电位，保证设备正常工作，抑制干扰。

（1）浮空地　即不接大地，实质是电路某一部分与“大地线”完全隔离，抑制来自接地线的干扰。因没有电气联系，不形成地环路电流而产生地阻抗的耦合干扰，见图 9-10 及图 9-11。浮空地方式也有缺陷：如较大电子电气控制设备，存在对地分布电容较大，基准电位将会受电磁场干扰，电路产生位移电流不能正常工作。当电子电气控制设备的工作速度提高、感应增大、输入输出增多时，对地分布电容就增大，加大了位移干扰电流。另外因

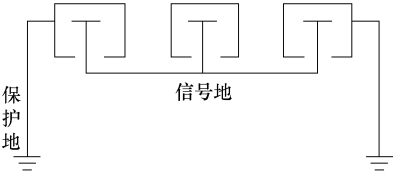


图 9-10　设备悬浮地

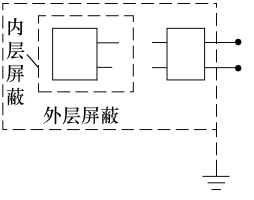


图 9-11　单元悬浮地

为存在分布电容，易产生静电积累和静电放电，雷电时会在机箱和单元之间产生飞弧。因此浮空地方式不太适宜于比较复杂的电磁环境。例如：图 9-12 中的分布电容 C 在外界干扰作用下会产生干扰电动势。

（2）系统地　它的优缺点与浮空地方式正好相反，当电子电气控制设备的分布电容较大时，宜直接接大地，接地点的位置及接地点的多少，选择合理便能把干扰降低到最低程度。

（3）电容接地　经电容将系统地与大地连接，接地电容一般为高频电容，它提供对“系统地”至“大地”高频干扰分量的通路，相当于一个高通滤波器，抑制由对地分布电容所造成的影响。只适合于低频系统，所选电容高频特性良好，耐压适当，一般为 2 ~ 10μF。

复杂电子设备中包含多种电子电路和各种电动机、电器部件，接地线应分组敷设，分为信号地线（数字地和模拟地）、噪声地线和金属件地线（安全地）等，见图 9-13。

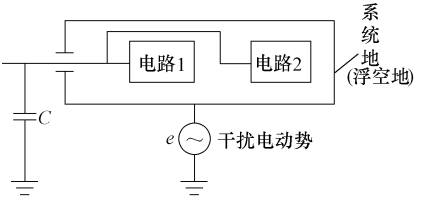


图 9-12　浮空地电位波动产生干扰

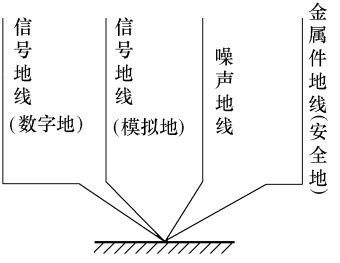


图 9-13　地线的分组敷设

2. 接地原则

电子设备中按功能作用有低电平信号电路（如高频电路、数字电路、小信号模拟电路等）和高电平功率驱动电路（如供电电路、继电器电路等）。为安装电路板和其他元器件，防止外界电磁干扰，一般安装相应机械强度和屏蔽效能的机壳。复杂设备接地应按照如下原则：

1）50Hz 电源零线接安全接地螺栓，独立设备安全接地螺栓设置在设备金属外壳上，应有良好电气连接；为防止机壳带电，绝对不允许用电源零线作地线代替机壳地线；为防止高电压、大电流和强功率驱动电路对低电平电路产生干扰，必须将它们分开接地，并保证接地点之间有一定距离。前者为功率地，后者为信号地，信号地分为数字地和模拟地，数字地与模拟地也要分开接地，最好采用单独电源供电并分别接地，信号地线应与功率地线和机

壳地线相绝缘。

2）信号地线可另设一个和设备外壳相绝缘信号地接地螺栓，该信号地螺栓与安全接地螺栓连接方式有：不连接即浮地式，建议不采用；直接连接成单点接地式，在低频电路中采用单点接地；通过 1 ~ 3μF 电容器连接，即直流浮地式，交流接地式。其他接地最后全部汇聚在安全接地螺栓，该点应位于交流电源的进线处，通过接地线可靠埋设在土壤中。

二、PLC 的接地

1. 串联式单点接地

将设备接地端子就近与同一根接地线连接，再与接地装置连接。这种接地成本低，但当公用接地线断路时，可能引起所有设备外壳带电。

2. 共同单点接地

在每个设备接地端子都引出 1 根接地线，再同时接到接地装置上。当接地系统中任 1 台设备接地线断了，其他设备外壳不会带电；但如电子设备或其他对高频干扰高度敏感的电气设备，来自于其他设备的高频干扰如变频器、中频炉等晶闸管变流器件，将会从共地点串入，设备工作不正常。

PLC 接地应采取单独接地，接地线截面积≥2.5mm^2；多个设备接地时，必须共用一个接地点，见图 9-14、图 9-15。接地点尽可能在易产生静电设备处如变频器、晶闸管电加热等设备；接地电阻不大于 4Ω。

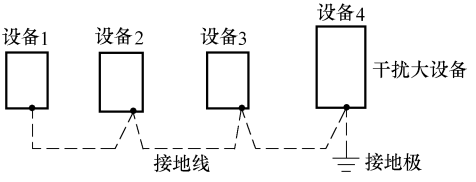


图 9-14　错误的接地方式

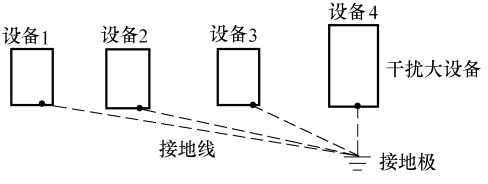


图 9-15　正确的接地方式

三、屏蔽接地

屏蔽与接地应配合使用，这样屏蔽效果良好，因为考虑到电磁兼容，典型屏蔽方式为静电屏蔽与交变电场屏蔽。

（1）静电屏蔽　用完整金属屏蔽体将带电导体包围起来，在屏蔽体内侧将感应出与带电导体等量的异种电荷，外侧出现与带电导体等量的同种电荷，因此外侧仍有电场存在。如将金属屏蔽体接地，金属壳外侧将不存在电场，即壳内带电体电场被屏蔽。

（2）交变电场屏蔽　为减少交变电场对敏感电路如多级放大电路、RAM、ROM 耦合干扰电压，可在干扰源和敏感电路之间设置导电性良好的金属屏蔽体，或将干扰源、敏感电路屏蔽，并将金属屏蔽体良好接地。

典型屏蔽接地方法有以下几种：

（1）电路屏蔽罩接地　各种信号源和放大器等易受电磁辐射干扰的电路应设置屏蔽罩。由于信号电路与屏蔽罩之间存在寄生电容，所以要将信号电路地线末端与屏蔽罩相连，消除寄生电容影响，并将屏蔽罩接地，消除共模干扰。

（2）电缆的屏蔽层接地　在通信设备中的弱信号传输电缆中，为保证信号传输安全和稳定，使用外面带屏蔽网的电缆确保信号传输稳定，防止与其他设备的相互干扰。

（3）低频电路电缆的屏蔽层接地　1MHz 的低频电路应采用单点接地，屏蔽层接地点应当与电路的接地点一致，一般是电源的负极。对于多层屏蔽电缆，每个屏蔽层应在一点接地，各屏蔽层应相互绝缘。

（4）高频电路电缆屏蔽层接地　应采用多点接地方式。高频电路信号在传递中会产生严重的电磁辐射，数字信号的传输会严重衰减，如没有良好的屏蔽，数字信号将可能出错。一般当电缆长度大于工作信号波长的 0.15 倍时，采用工作信号波长的 0.15 倍的间隔多点接地式。如不能实现，则至少将屏蔽层两端接地。

（5）系统的屏蔽体接地　当整个系统需要抵抗外界电磁干扰，或需防止系统对外界产生电磁干扰时，应将整个系统屏蔽，并接到系统地。

四、电气试验设备的接地

（1）电气试验设备的种类　试验变压器包括直流高压发生器、交流高压发生器，用于耐压试验及泄漏电流试验等；调压器，用于调节试验设备电压；绝缘电阻表，用来测量绝缘电阻；接地电阻测量仪，用于测量避雷器、接地网等的接地电阻；放电球隙，用作电缆故障测寻；电桥，有惠斯顿电桥

和开尔文电桥，用于测量直流电阻用。

（2）电气试验设备的接地　工作中，试验设备外壳应可靠接地。高压试验设备的引线尽可能短，必要时用绝缘物支持。试验时为确保高压回路的任何部分不对接地体放电，高压回路与接地体间必须有足够的距离。变更接线或者试验结束，应首先降低电压，断开电源并将升压装置的高压部分短路接地。

第五节　防静电接地

一、静电的产生

1. 摩擦起电

两种物质接触、分离或摩擦，会产生静电。即使同一种材料，将其两片摩擦后分离，同样可以产生静电。表9-3列出产生的典型静电电压。静电出现在物体表面。试验表明，虽试验条件不同，如纯度、环境条件、接触压力、摩擦和分离速度、摩擦时接触面积等，但试验结果一致。

表9-3　典型静电电压

静电产生方式	静电电压/V	
	相对湿度10%～20%	相对湿度65%～90%
在地毯上行走	35 000	1 500
在乙烯树脂地板上行走	12 000	250
在工作台上工作	6 000	100
打开乙烯树脂封装时	7 000	600
拾起通用的聚乙烯提包时	20 000	1 200
在带有聚氨基酸脂泡沫的椅子上	18 000	1 500

2. 感应起电

导体在静电场作用下，导体表面感应出和导体原有电荷重新分布，即不带电的导体可以感应起电。因此，可能在导体或人体上产生高电压，导致火花放电。而静电测量应用了静电感应的原理。

尽管感应电荷与带电体的总电荷相比很小，却不应忽略，有时可达数十千伏。

二、静电的特点

静电电压高但能量小，固体静电电压达20×10^4V以上，液体静电和粉体静电达数万伏，气体和蒸汽静电、人体静电达10000V以上。由于积累静

电材料的电阻率很高，所以静电泄漏过程很缓慢。

从静电危害角度考虑，当材料体积电阻率超过一定值时，材料耗散静电能力明显减弱；工业生产中静电电位高、电量低、电流小、作用时间短，设备或人体静电位最高超过数万伏，正常操作条件下也常达数万伏。但所积累的静电量很低、静电电流为微安级、作用时间为微秒。静电受环境湿度影响较大、瞬态现象多。

三、防静电接地

1. 防静电接地方法

物体所带电荷向大地泄漏，防静电接地适用于静电导体和静电耗散材料。有直接静电接地和间接静电接地，前者通过金属导体构成静电接地系统，后者通过含非金属、防静电材料或其制品使物体静电接地。金属导体一般直接接地；其他静电导体或静电消散材料不能直接接地，应该用导电胶液将表面的局部或全部与金属导体紧密粘和，再将金属导体接地，即间接接地；间接接地时，非金属静电导体或静电消散材料与金属导体紧密粘和面积大于 $20cm^2$，接触电阻尽量小。

静电危险场所如存在多个金属物体时，为消除金属间电位差、消除静电放电，需将所有金属物体直接接地。对相距较远的大型设备，必须直接接地，不许串联接地。对相距很近的小型金属物体，可串联后再接地，这种金属物体连接方式称为搭接，见图 9-16。搭接后导体之间及与大地间等电位。防静电接地方式选择如下：

① 金属导体是直接接地的对象，活动的金属导体可考虑间接接地。

② 金属导体外的静电导体及表面电阻率小于 $10^{12}\Omega\cdot m$ 的物体是间接接地对象。

③ 表面电阻率大于 $10^{12}\Omega\cdot m$ 的物体静电非导体，不能作接地对象。

④ 人体是静电导体，是直接接地对象，也是间接接地对象。

2. 防静电接地范围及实施

1）凡加工、储存、运输可燃气体，易燃液体和粉体的金属工艺设备、容器和管道都应接地，接地线需有足够的机械强度，连接良好；一般共用接地，如单独接地每处接地电阻小于 30Ω。

2）易燃油、可燃油和天然气浮动式储罐顶，用可挠的跨接线与罐体相连，多余两处。钢绞线或软铜线制作跨接线截面积不小于 $25mm^2$；储罐电气测量的铠装电缆埋入地中，长度不小于 50m；金属罐罐体钢板的接缝、罐顶与罐体间及所有管、阀与罐体有可靠的电气连接；对特种设备压力容积

$50m^3$或直径2.5m以上的储罐，接地点不小于两处，均匀布置。

3）注油设备所有金属体应接地。注油前用跨接线与储油设备连接后接地；注油时，储油设备与注油设备用连接线连接；注油后先卸主油管，后拆跨接线和连接线。油槽车底盘有金属链条与大地接触。转轴的静电，采用导电性润滑油或导电集电环、电刷接地。

4）移动的导电容器或器具可能产生静电危害时应接地。用铜线接地，利用工具操作或检修这类设备时，工具应可靠接地。

5）为防止静电危害，某些特殊场所人员避免穿丝绸或合纤衣服，在手腕戴接地环确保接地。从事带静电作业的人员不应戴金属戒指和手镯。特殊场所的门把手和门栓应接地。

3. 防静电接地的接地电阻

接地电阻是接地的金属导体本身电阻与大地之间的电阻，是金属导体本身的电阻加与接地体与大地之间的流散电阻之和，流散电阻是泄漏电流从接地体向周围大地流散时土壤所呈现的电阻。接地体20m之外可认为是静电接地中的“地”。

防静电接地电阻是指接地点与大地零电位点之间的电阻，包括被接地物体接地点与接地极间的接触电阻、连接接地极与接地体间的连接物电阻和接地电阻之和，见图9-17。

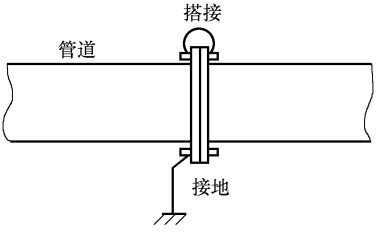


图9-16　搭接

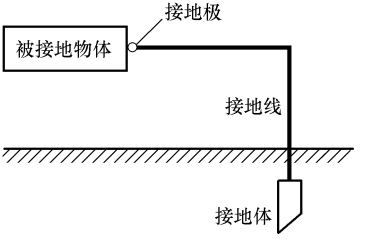


图9-17　防静电接地电阻

当防静电、防雷电和工频电气三个接地系统共用一个接地体时，接地电阻应按其中的最小值选取，一般为4～10Ω。如认为通过人体安全电流为0.5mA，220V工频交流电，人体对地选择1MΩ电阻。

4. 防静电接地线的连接

防静电接地所用的接地体，用长度大于2m的金属导体，水平埋入距地面0.5m以下的土壤中，构成接地体；实际中，扁钢40mm×4mm，角钢

25mm×4mm 或钢管 ϕ40mm、壁厚 3.5mm；伸入地中钢筋混凝土建筑物的基础、金属管道和设备等亦可兼作静电接地体使用。接地干线需相应的机械强度，可采用镀锌 25mm×4mm 的扁钢或 8mm 以上的圆钢。接地支线可用截面积为 2～10mm^2 的多股裸铜线或铜芯电线，也可用多股不锈钢编织带。

接地体、接地干线、接地支线之间的连接点均应焊接连接或螺栓连接。埋地部分须焊接，焊接面积足够，螺栓紧固连接时防锈蚀、污染、脱落、电化腐蚀。图 9-18 为多根地线埋设方法。

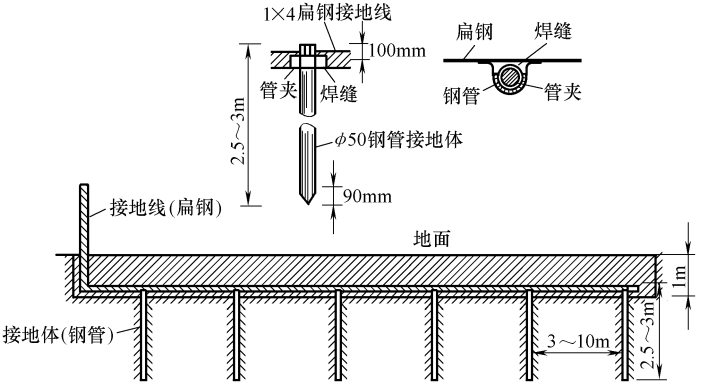


图 9-18　多根地线埋设方法

第六节　电磁兼容防护技术

一、电磁兼容概述

电磁兼容是设备（分系统、系统）在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态。即该设备不会由于受到处于同一电磁环境中其他设备的电磁发射导致或遭受不允许的降级；也不会使同一电磁环境中其他设备（分系统、系统），因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级。

1. 电磁兼容的内容

电磁兼容设计内容综合，并紧密与工业生产及质量控制相关。构成电磁干扰须同时具有电磁干扰源、对干扰源敏感的被干扰目标和传递媒体。电磁兼容研究的对象是特征、边界条件和有效地抑制办法。无论人为或自然电磁干扰源，均可分为四类，即雷电、强电磁脉冲、静电放电和开关动作。电磁干扰电压、电流和时域特性见表 9-4。

表 9-4　电磁干扰电压、电流和时域特性

瞬变的来源		电压	电流	上升时间	延续时间	备　注
雷电	第一类	500kV/m	200kA	<1.5μs	20μs	第一类为直接造成的最坏瞬变状态，第二类为间接的瞬变状态
	第二类	6kV/m	3kA	<8μs		
核爆炸产生的电磁脉冲	第一类	100kV/m	10kA	10ns	150ns	
	第二类	1kV	>10A	20ns	1μs	
静电放电	第一类	40kV	80A	1～5ns	<100ns	
	第二类	1～5kV	>10A	10ns	>100ns	
开关动作	第一类	<2 500V	200A	<10μs	>40μs	
	第二类	<600V	<500A	<50μs	>10μs	

2. 电磁脉冲的主要参数和环境效应

三种电磁脉冲源的参数对比见表 9-5，电磁脉冲的环境效应见表 9-6。

表 9-5　三种电磁脉冲源的参数对比

类别		窄带电磁脉冲 HPM	超宽带电磁脉冲 UWB	高振幅电磁脉冲 HEMP
天线处峰值功率		100MW～20GW	1～20GW	50 000TW
脉冲半高宽		1～10ns	<10ns	<20ns
上升时间		10～20ns	<1ns	1～5ns
脉冲能量		0.1～200kJ	5～500J	10^6GJ
频谱带宽		500MHz～10GHz	100MHz～50GHz	0～200MHz
不同距离的功率密度	100m	1W/m^2～200MW/m^2	2～100W/m^2	600W/m^2
	1km	10mW/m^2～2MW/m^2		600W/m^2
	10km	0.1mW/m^2～200kW/m^2		600W/m^2
不同距离的峰值电场	100m	20～300kV/m	4～20kV/m	50kV/m
	1km	2～30kV/m		50kV/m
	10km	0.2～3kV/m		50kV/m
作用距离		几千米到几十千米	<100m	10～10^2km
辐射方法		天线	天线或有规律爆炸	核爆炸

3. 电磁干扰对电器、电子设备的危害

表 9-4 中各类电磁干扰对电器、电子设备或系统，特别是对含半导体器件的设备或系统会产生严重破坏。半导体器件一般损伤阈值为 10^{-8}～10^{-2} J/cm^2，易损器件为 0.1～1μJ/cm^2，若不损坏器件，只引起瞬时失效或干扰，损伤阈值还要低 2～3 个数量级。

表 9-6 电磁脉冲的环境效应

参考距离	功率密度	环境效应
10km	0.1～10W/m^2	对雷达和通信设备产生强干扰,设备无法正常工作
1～10km	0.1～10kW/m^2	通信、雷达、导航等系统的微电子设备失效或烧毁
1km	0.1～1MW/m^2	壳体内产生瞬态电磁场,并进入壳体内部电路产生感应电压,出现功能紊乱、误码、逻辑混乱直至永久失效
100m	10～1MW/m^2	强场作用,引起许多非线性感应,产生微观力学效应或非常吸收,可在短时间内毁坏目标

（1）高压击穿　当器件接收电磁能量后即转化为大电流，在高阻处转化为高压，可引起接点、部件或回路间的电击穿，导致器件的损坏或瞬时失效。如脉宽 0.1μs 电流幅值为 1A 的脉冲，可在电容为 1pF 处接点间产生 100kV 电压，如该接点被击穿后还会产生数十万赫兹的衰减正弦振荡，并辐射出电磁波。

（2）器件烧毁或瞬变干扰　因瞬变电压造成短路损坏的原因一般是功率过大而烧毁或 PN 结电压过高而击穿，集成电路、存储器、晶体管、二极管、晶闸管等都一样。大多数半导体器件最低损坏的有效功率为 1μs、10W 或 10μJ，一些敏感器件为 1μs、1W 或 10μJ。

（3）电涌冲击　有金属屏蔽的电子设备，即使壳体外的微波能量不能直接辐射到设备内部，但在金属屏蔽壳体上感应的脉冲大电流，像浪涌一样在壳体上流动，壳体缝隙、孔洞、外露引线一旦浪涌电流引入壳内设备，就足以损坏内部敏感器件。

4. 电磁兼容设计方法

电磁兼容设计方法的核心是对电磁干扰的预测和分析，基于计算机数模预测方法，投资少、见效快、功能广泛、周期短。电磁兼容性预测内容包括电磁环境预测、系统电磁干扰预测、机内耦合预测和频谱利用和管理。

（1）电磁兼容设计的有效性　电磁兼容设计的有效形式有一定范围。敏感度阈值定义，使系统或设备不能正常工作的空间某点或电路某一特定点的干扰临界电平。该值可通过实验或计算预测获得。

令 M 为系统电磁兼容安全系数，则

$$M = P_S - P_i \tag{9-7}$$

式中　P_S——敏感度阈值；

P_i——系统或设备工作时，最大的实际干扰电平。

一般无线电系统的电磁兼容安全系数 $M=6\text{dB}$，电爆管和火工器的电磁兼容安全系数 $M=20\text{dB}$。

根据《系统预防电磁能量效应的设计和试验指南》规定，军事设备没有封装的 M 值为 $-70\sim-30\text{dB}$，封装后 M 值为 20dB。由此，可认为电磁兼容性设计的范围 $-70\sim20\text{dB}$，电磁兼容性设计只能在这个范围有效。因此当系统在方案论证时，若 M 预测值小于 -70dB，就应改变系统设计方案；若 M 预测值大于 20dB，则不必考虑电磁兼容设计。

（2）电磁兼容技术的发展　电与磁影响着人们的生活及生产，电磁能广泛应用，产生了巨大效益，也带来电磁污染。以往总是将无线电通信装置受到的干扰称为电磁干扰，表明装置受外部干扰侵害，其实本身也对其他装置造成危害，也是干扰源，必须同时研究装置的干扰和被干扰，即相互干扰，对装置内部的组织和装置间还要考虑相容性。

二、电磁干扰抑制技术

1. 电磁干扰概述

电磁干扰是指任何能使设备或系统性能降级的电磁现象。一个系统或系统内某一线路受电磁干扰的程度可表示为：

$$N=GC/I \tag{9-8}$$

式中　N——干扰程度；

G——噪声源强度；

C——噪声通过某种途径传输到受干扰处的耦合因素；

I——受干扰电路的敏感程度。

（1）电磁干扰类型　有传导干扰和辐射干扰，前者是电子设备产生的干扰信号通过导电介质或公共电源线互相产生干扰；后者是电子设备产生的干扰信号通过空间耦合将干扰信号传给另一个电网络或电子设备。

（2）电磁干扰源　分为自然和人为干扰源两大类，前者指自然界固有的与人活动无关的电磁干扰现象，如大气放电、地球磁场、太阳所发出的辐射等；后者指人类工业和社会活动产生的电磁干扰，如点火系统、输电线系统、电感性设备、变频设备、开关器件和继电器等。

2. 电磁干扰的抑制

不论电磁干扰如何复杂，电磁干扰的逻辑拓扑关系由三个基本要素组成，即存在电磁干扰能源；存在电磁干扰受体，当电磁干扰强度超出界限时，被干扰设备的性能将发生混乱；在干扰源和干扰受体间存在耦合通道传

输电磁能量，见图 9-19。

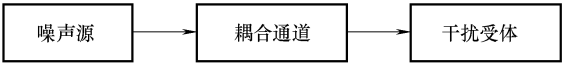


图 9-19　电磁干扰的逻辑拓扑关系

电磁干扰抑制技术就是围绕三要素，抑制干扰源、切断电磁干扰耦合途径、降低电磁敏感装置的敏感性。

（1）抑制干扰源　确定何处是干扰源，靠近干扰源采取相应措施，抑制效果就比较好。一般来说，电流电压发生剧变的位置就是干扰源，如继电器通断、电容充电、电机运转、晶闸管导通、IGBT 工作、集成电路开关工作等。另外，市电电源并非理想的 50Hz 正弦波，也是干扰源。可采用低噪声电路、瞬态抑制电路、旋转装置抑制电路、稳压电路等；选择的器件尽可能用低噪声、高频特性好、稳定性高。但抑制电路选择不适当的器件也可能成为新干扰源。

（2）切断电磁干扰耦合途径　主要为传导和辐射两种，噪声经导线直接耦合到电路中最常见。抑制传导干扰的主要措施是串接滤波器。有低通、高通、带通和带阻四种，根据信号与噪声频率选择相应的滤波器。如噪声频率远高于信号频率，常用 LC 低通滤波器，结构简单，效果好。但对于要求较高的产品，必须用穿心式滤波器。此式滤波器也称为穿越式滤波器，有 C 型、T 型和 LC 型结构，高频特性优良，可工作在 1GHz 以上，体积小、重量轻，允许电流大，可广泛用于各种场合。

对通过供电电源线传导的噪声可以用电源滤波器滤除，可接在电网输入处，或噪声源电路输出处，抑制噪声输出，交直流两用。电源滤波器端口分为高阻和低阻两种，应根据输入及负载阻抗选择接法。连接原则是低阻负载端接滤波器高阻端，反之亦然。

对传输线路及印制电路板的布线设计，进线与出线、信号线与电源线尽量分开。对于重点线路可采用损耗线滤波器、三端子电容、磁环等器件干扰抑制。对于接口端，带滤波的 D 型、圆形、方形连接器产品，即在普通连接器上加装电容或电感，构成滤波电路。

对辐射干扰，可采用屏蔽技术和分层技术。选择适当的屏蔽材料在适当的位置加以屏蔽。可供选择的屏蔽材料种类繁多，如各种金属板、铜丝网、编织铜带、导电橡胶、导电胶、导电玻璃等。屏蔽室的设计可考虑门窗、通风口、进出线口的屏蔽与搭接。除静电屏蔽外，还要考虑磁屏蔽以及接地

技术。

（3）降低电磁敏感装置的敏感度　电磁敏感装置的敏感性高，接收装置灵敏度高，提高信号接收能力，但受噪声影响也大。因此应根据具体情况解决相应问题。

三、电磁屏蔽设计

1. 概述

利用屏蔽体阻挡或减小电磁能量传输技术，抑制电磁干扰。电磁场理论认为有两个电磁空间，在分界面上存在一物体，如该物体的存在而能将这两个电磁空间看成是相互独立存在的，被称为屏蔽，分界面上的物体为屏蔽体。电磁屏蔽，限制某一区域内部的电磁能量泄露干扰区域外部的设备，也防止外部电磁能量进入区域内产生了干扰。

电磁屏蔽的作用原理是利用屏蔽体对电磁能量的反射、吸收和引导作用将屏蔽区域与其他区域分开，这些作用与屏蔽体结构表面上和屏蔽体内感应的电荷、电流及极化现象相关。屏蔽分为电场、磁场和电磁屏蔽；电场屏蔽包括静电屏蔽和交变电场屏蔽，磁场屏蔽包括静磁屏蔽和交变磁场屏蔽；电磁屏蔽一般指对辐射场的屏蔽，即对空间传输交变电磁场的屏蔽。

电磁屏蔽效能用屏蔽效能衡量，即空间某点上未加屏蔽时的电场 E_0（或磁场 H_0）与加屏蔽后该点的电场 E（或磁场 H）的比，可用公式表示为

$$S_e = \left|\frac{E_0}{E}\right| \quad S_h = \left|\frac{H_0}{H}\right| \tag{9-9}$$

由于屏蔽效能的量值宽，在工程中以分贝（dB）为单位，屏蔽效能又可表示为

$$S_e = 20\lg\left|\frac{E_0}{E}\right| \quad S_h = 20\lg\left|\frac{H_0}{H}\right| \tag{9-10}$$

屏蔽效能数值越大，屏蔽效果就越好。工程设计中屏蔽效能可达 120dB 以上。实际中，精确求解这类问题是很困难的，常采用一些近似的方法，如电磁屏蔽，将足够大的平面屏蔽看作无限大平面屏蔽，将封闭面屏蔽看作均匀球面屏蔽，将足够长圆柱形屏蔽看作无限长圆柱形屏蔽等。

2. 常见屏蔽金属材料

常见屏蔽金属材料的相对电导率和磁导率及屏蔽厚度与吸收损耗的关系见表 9-7。可以看出，对于吸收损耗，当频率远大于 1MHz 时，用 0.5mm 厚的任何金属板屏蔽体，都能将场强减弱到原先的 1% 以下。选取材料时，主要考虑材料的机械强度、刚度和防腐等；对低频屏蔽，应用相对磁导率 μ_r

大的铁磁场性材料，如冷轧钢板、坡莫合金等。

表 9-7　常见屏蔽金属材料的相对电导率和磁导率及屏蔽厚度与吸收损耗的关系

金属	相对电导率 σ_r	相对磁导率 μ_r	频率/Hz	屏蔽体厚度/mm		
				8.68dB	20dB	40dB
铜	1	1	10^2	6.7	15.4	30.8
	1	1	10^4	0.67	1.54	3.08
	1	1	10^6	0.067	0.154	0.308
	1	1	10^8	0.006 7	0.015 4	0.030 8
铝	0.63	1	10^2	8.35	19.24	38.48
	0.63	1	10^4	0.835	1.924	3.848
	0.63	1	10^6	0.083 5	0.192 4	0.384 8
	0.63	1	10^8	0.008 35	0.019 24	0.038 48
钢	0.17	180	10^2	1.2	2.76	5.52
	0.17	180	10^4	0.12	0.276	0.552
	0.17	180	10^6	0.012	0.027 6	0.055 2
	0.17	180	10^8	0.001 2	0.002 76	0.005 52
坡莫合金	0.108	8 000	10^2	0.23	0.52	1.04
	0.108	8 000	10^4	0.023	0.052	0.104
	0.108	8 000	10^6	0.002 3	0.005 2	0.010 4
	0.108	8 000	10^8	0.000 23	0.000 52	0.001 04

（1）屏蔽用金属材料　对高阻抗干扰源和平面波，使用高电导率的金属屏蔽材料；对低阻抗干扰源和磁场，使用高磁导率的铁磁性金属屏蔽材料。常用的金属板屏蔽材料有镀锌钢板、低碳钢板、镀铜钢板和铜板等。常用金属的相对电导率和相对磁导率见表 9-8。

表 9-8　常用金属的相对电导率和相对磁导率

金属	相对电导率 σ_r	相对磁导率 μ_r ($f<10$kHz)	金属	相对电导率 σ_r	相对磁导率 μ_r ($f<10$kHz)
银	1.064	1	坡莫合金	0.108	8 000
铜	1.00	1	钝铁	0.17	5 000
金	0.7	1	硅钢	0.038 4	1 500
铬	0.664	1	冷轧钢	0.17	180
铝	0.63	1	不锈钢	0.02	200
锌	0.305	1	镍铬硅铁磁合金	0.019	1 000
锡	0.151	1			
铅	0.079	1	铁镍合金	0.172	300

（2）缝隙屏蔽材料　任何机箱都有缝隙，由于缝隙造成导电不连续，在缝隙处就会产生电磁泄漏。使用电磁密封衬垫可消除缝隙电磁泄漏。缝隙屏蔽材料有金属丝网屏蔽条、导电橡胶和铍铜指形簧片等。

1）金属丝网屏蔽条。用金属丝织成弹性网套，或将金属丝编织的网套覆盖在橡胶和硅橡胶芯上，构成弹性表层导电材料，见图 9-20。广泛用于电子设备。通常安装、镶嵌在机柜、机箱装配面处减小缝隙，保持装配面处的导电连续性，确保电子设备的电磁兼容性。

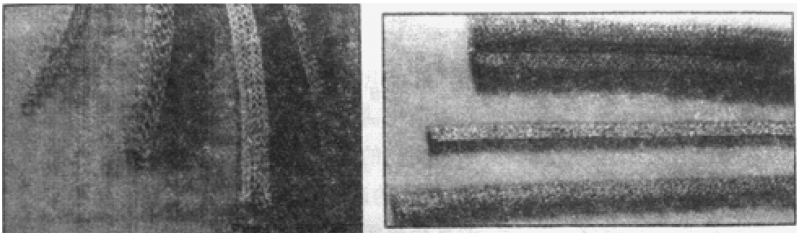


图 9-20　金属丝网屏蔽条

2）导电橡胶。将微细导电微粒均匀掺入硅橡胶中，保持橡胶原有的水、汽密封性能，并具有高导电性，见图 9-21。主要用于要求密封盒屏蔽频率范围特别宽的场合，适用要求高的中小型电子机箱和微波波导系统。

3）铍铜指形簧片。用铍铜制成各种形式的簧片，见图 9-22，形变范围大、屏蔽性能优异、重量轻、安装方式灵活，广泛用于通信、移动电话等电子设备中。

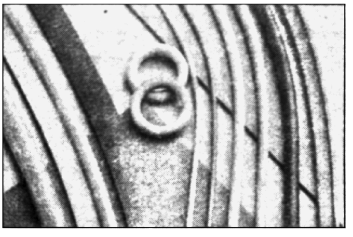


图 9-21　导电橡胶

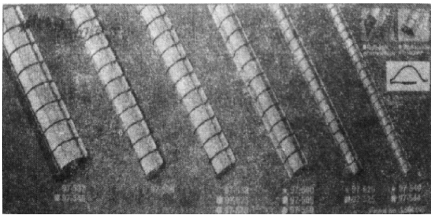


图 9-22　铍铜指形簧片

3. 薄膜屏蔽材料

很多工程设计中采用塑料机箱，美观、加工方便。为保证屏蔽作用，常用喷涂、真空沉积及贴金属膜技术，在机箱上包一层导电薄膜，即薄膜屏蔽。导电层很薄，吸收损耗小，屏蔽效能主要由反射损耗和多次反射修正因

子确定。电磁屏蔽涂料是薄膜屏蔽材料，涂在工程塑料、木材、水泥墙面等，可实现电磁屏蔽。导电铜漆是铜基导电涂料，用于无线电干扰屏蔽和需要高导电表面场合，适用于 ABS、PPO 等工程塑料表面涂料。图 9-23 是填银的高效导电聚丙烯涂料。

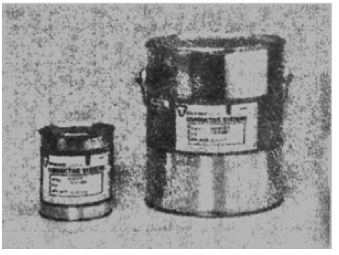


图 9-23　导电聚丙烯涂料

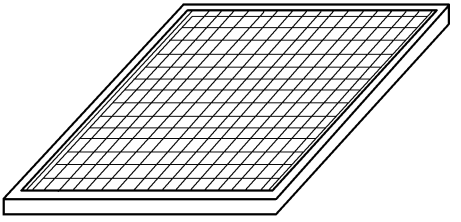


图 9-24　金属丝网

4. 通风孔屏蔽材料

为保证机箱通风散热，在机箱上留通风孔，如通风孔太大，会降低机箱的屏蔽性能。

（1）金属丝网　金属丝网覆盖在大面积的通风孔上，防止电磁泄漏，见图 9-24，结构简单、成本低、通风好，适合于屏蔽要求不高的场合。金属丝网屏蔽效能与网丝直径、网孔枢密程度及网丝材料的电导率有关，直径粗、网孔密、网丝材料的电导率就高，屏蔽性能好。

（2）穿孔金属板　在金属板上打出小孔，通风散热，防电磁泄漏。可直接在金属机壳适当部位打孔，或将打好孔的金属板装在通风孔上，见图 9-25，孔径小、板厚，屏蔽效能就好。

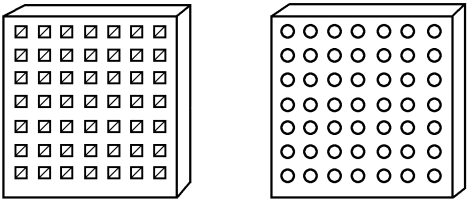


图 9-25　穿孔金属板

（3）通风截止波导　当电磁波频率低于波导的截止频率时，电磁波在传输时产生衰减很大，用这一特性制成的截止波导通风孔，能有效抑制波导截止频率以下的电磁干扰。单根截止波导横截面形状有矩形、圆形和六角

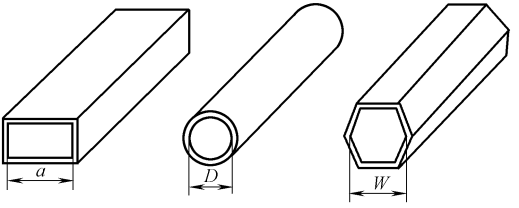


图 9-26　截止波导通风孔

形，见图 9-26。波导截止频率与波导结构尺寸有关。

1）矩形波导截止频率：　$f_c = \frac{15}{a} \times 10^9$　(9-11)

式中　a——矩形波导宽边的尺寸（cm）。

2）圆形波导截止频率：　$f_c = \frac{17.6}{D} \times 10^9$　(9-12)

式中　D——圆形波导的直径（cm）。

3）六角形波导截止频率：$f_c = \frac{15}{W} \times 10^9$　(9-13)

式中　W——六角形内壁外接圆的直径（cm）。

低于波导截止频率的电磁波在波导中传播时的屏蔽效能可表示为

$$S = 1.823 f_c L \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \times 10^{-9} \tag{9-14}$$

式中　f——干扰信号的频率；

L———截止波导的长度（cm）。

设计截止波导板时，根据欲屏蔽的电磁波最高频率 f 确定 f_{co} 为使波导有足够的衰减，应满足 $f_c \gg f$，一般取 $f_c = (5 \sim 10) f$。再根据所要求的屏蔽效能计算波导的长度，一般 $L \geqslant 3a$，$L \geqslant 3D$ 或 $L \geqslant 3W$。通风截止波导板的结构见图 9-27。通风截止波导板的优点是屏蔽效能高、通风好、但体积大、成本高，难平面安装。通常用在屏蔽性能要求高，通风散热量大的屏蔽室或大型设备的通风孔处。

5. 观察窗屏蔽材料

屏蔽玻璃，防止电磁泄漏的透光材料，应用于雷达指示器、计算机终端显示器、精密仪器仪表显示窗口及屏蔽式窗口等，由特殊处理后的屏蔽丝网衬于玻璃之间形成的，其结构见图 9-28，防电磁泄漏，观察图形不失真，清晰度高。

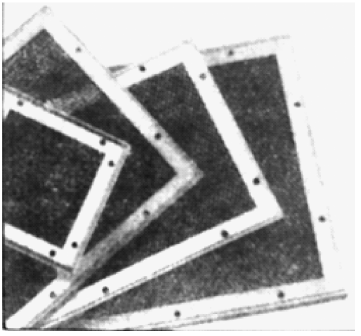


图 9-27　通风截止波导板

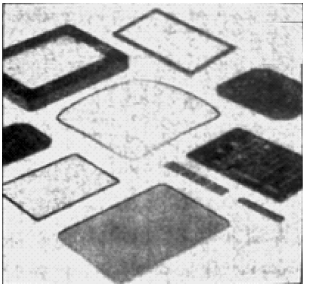


图 9-28　屏蔽玻璃

6. 引线孔屏蔽材料

一般情况下，电子设备通过机箱上的孔进入机箱的导线如电源线、信号线等与其他设备连接，电磁干扰信号可通过这些导线进入机箱造成干扰。对屏蔽性能要求高的电子设备，可在导线进箱处安装适应的电磁干扰滤波器，如电源滤波器、信号滤波器等。信号滤波器的选择原则是，防电磁泄漏的同时有用信号也能通过。为防高频干扰，在导线与外壳间加穿心电容，图 9-29 是各种电磁干扰滤波器。

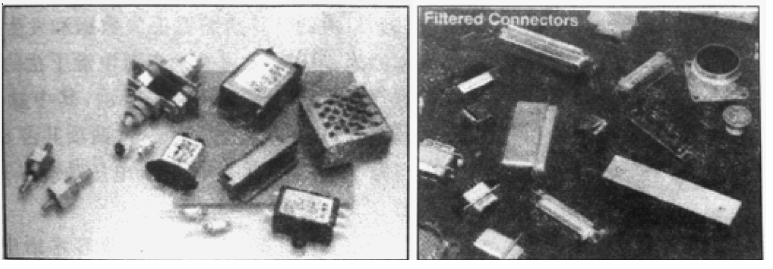


图 9-29　各种电磁干扰滤波器

四、变频器的电磁兼容设计

以通过高压变频器的电磁兼容设计为例，从线路设计、印制板设计、设备内部走线、接地技术、屏蔽技术、滤波技术、电缆辐射、瞬态干扰抑制等，了解电磁兼容设计的要点和关键技术。电磁干扰成为电子设备或系统中的严重问题。电子设备密集了大量的电子设备在同一电磁环境中工作，存在严重的电磁干扰；数字化电子产品工作时，也会产生很强的电磁干扰发射。

因此，必须满足电磁兼容强制标准。

1. 几个名词

（1）电磁兼容性　设备或系统在电磁环境中能正常工作，且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁干扰的能力。

（2）电快速瞬变脉冲群　电感性开关元件如继电器、接触器等断开时，由于触点间隙绝缘击穿或触点弹跳等原因，在断开处产生的暂态干扰。当多次重复开关，则脉冲群以相应的时间间隙重复出现，这种暂态干扰能量小，不会损坏设备，但频谱分布范围较宽，可能对电子电气设备的可靠性产生影响。

（3）电快速瞬变脉冲群抗扰度试验　用于验证由闪电、接地故障或切换电感性负载引起的瞬时扰动抗干扰能力，此时将耦合到电源线路、控制线路、信号线路的由许多快速瞬变脉冲组成的脉冲群试验。此波形不是感性负载断开的实际波形，感性负载断开时产生的干扰幅度是递增的，而试验波形更严酷。电快速脉冲群由间隔 300ms 连续脉冲串构成，每一个脉冲串持续 15ms，由数个无极性的单个脉冲波形组成，单个脉冲上升沿 5ns，持续 50ns，重复频率 5kHz。根据傅里叶变换，频谱为 5kHz ~ 100MHz 的离散谱线，每根谱线的距离是脉冲的重复频率。

该测试用于市电供电的电子电气产品，也适用公用的长直流电源线电子电气产品有电信端口和长距离的控制、信号端口的电子电气产品的端口测试，因长交/直流电源线和信号控制线工作时可能感应到周围设备产生的电快速瞬变脉冲干扰；同时与交/直流供电共用电源的其他设备可能产生电快速瞬变脉冲干扰传到公共供电中，干扰同一供电网的其他设备。表 9-9 列出对设备电源、保护接地、信号控制端电快速瞬变试验时优先采用的试验等级的范围。

表 9-9　试验测试内容

开路输出试验电压和脉冲的重复频率				
等级	在供电电源端口　保护接地		在 I/O(输入/输出信号)数据和控制端口	
	电压峰值/kV	重复频率/kHz	电压峰值/kV	重复频率/kHz
1	0.5	5	0.25	5
2	1		0.5	
3	2		1	
4	4		2	

2. 试验案例

（1）控制器组成及工作原理　控制器功能框图见图 9-30，由 CPU 板、相控 ABC 板（也称为 PWM 板）、信号采集板（IT 板）、电源板、总线底板和壳体组成，其中 CPU 板、PWM 板、IT 板、电源板按顺序插在总线底板上。主控制器为单元组合式，核心为双 DSP 的 CPU 单元，由总线底板与信号采集板和相控 A、B、C 板互通信息。从接口子模块 DI、AI 接受操作命令、给定信号、电机电流与电压等。CPU 板根据操作命令、给定信号及其他输入信号，计算控制信息及状态信息。相控 A、B、C 板接受来自 CPU 板的控制信息，产生 PWM 信号，经电/光转换器，向功率单元发送控制光信号。来自功率单元的信号在相控 A、B、C 板中转换成电信号，预处理后送至 CPU。状态信息通过信号采集板和接口子模板送出。主控制器根据控制命令、给定信号及运行信息、应答信息运行控制、状态分析、故障诊断等，检测出故障后按故障性质进行相应处理，如封锁系统、高压跳闸等，并给出相应故障信号，还提供故障音响信号。从 I/O 接口可输出开关量运行状态及模拟量运行参数，用户根据需要选择输出量。CPU 单元上备有调试用计算机接口，在计算机运行调试程序，可以以画面形式调试和诊断，并可同时显示系统中五个变量的时间波形和数字量，是系统调试和诊断的良好工具。CPU 单元有通信接口，以通信方式从上位机取得控制命令和给定信号，控制变频器的运行，并返回运行状态和运行参数，集中监控。

（2）试验中出现的问题　电磁兼容故障现象在设备的电磁兼容问题主要在做电快速脉冲试验时暴露，如在电源输入端口上施加电快速脉冲群时，CPU 板上的芯片将发生损坏；在信号端口施加电快速脉冲群时，数据出错。

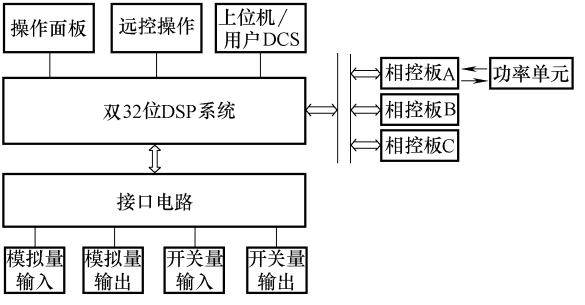


图 9-30　控制器功能框图

3. 故障原因分析

1）电源端口处缺少电磁干扰消除电路或元件，电快速脉冲进入设备并在电路中传播。

2）电源交流端口与直流端口距离太近，交流端口注入电快速脉冲时，直接耦合到直流侧，传入电路，形成干扰。

3）CPU 板与电源输入口距离太近，电源端口进入设备的电磁干扰直接耦合到 CPU 板。

4）设备电路屏蔽差，由于电快速脉冲干扰频率高，在电源线和信号线上做试验时，伴随较强的空间辐射，直接感应到电路上形成干扰。

5）信号端口缺少电磁干扰滤波电路，向信号线上注入电快速脉冲干扰时，干扰能量直接进入电路，对电路形成影响。

4. 解决方案

（1）总线底板电磁兼容设计

① 改变控制板在底板的布局，远离电源端口，见图 9-31 最左面两排端子，将其布置在与电源端口相对另一侧，图 9-31 最右端。

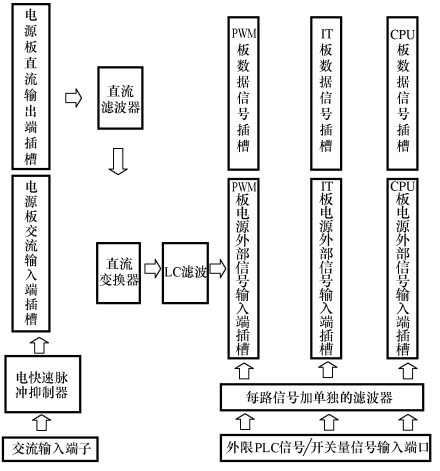


图 9-31　总线地板示意图

② 将底板设计成四层板，中间两层走线，顶层与底层为屏蔽层，与机箱配合，构成屏蔽体。底板与机箱之间连接，见图 9-32，在线路板上屏蔽层，与机箱配合预留一个导电层，在上面安装弹性电磁密封材料，与机箱构成连续导电体。屏蔽层与直流电源地在信号电缆的端口处相连，设计成采用

短路线连接，具体试验时，根据情况决定是否需要连接。

③ 将5V转换成3.3V、5V转换成2.5V和24V转换成5V的部分器件及周围电路布置到底板，防止电源板的干扰串入，在每路输出增加LC滤波电路，具体方法是将电压转换电路即直流变换器和LC滤波电路安装靠在离电路板电源输入插槽处。

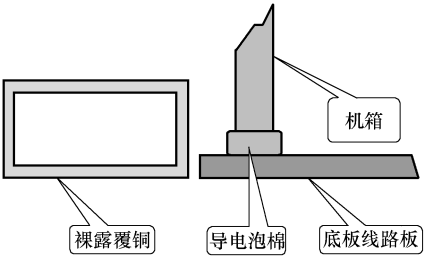


图9-32　底板与机箱构成完整屏蔽体

④ 电源板与底板之间两个插座，分别用于交流和直流，避免交流干扰直接耦合到直流侧。交流输入插座L、N接线针脚外的其他针脚全部接地屏蔽。

⑤ 在交流输入端安装电快速抑制器和浪涌抑制器如气体放电管或压敏电阻，具体位置为底板交流电源输入插槽后面，并将插头上的安全地线与底板上的屏蔽层地相接。

⑥ 在电源板直流输出端插槽旁安装直流滤波器，滤除各种途径耦合到直流侧的电磁干扰，具体方法是在电源板上直流电源安装直流电源滤波器，见图9-33。

⑦ 底板上外部PLC信号/开关量信号的输入端口安装信号线滤波器，即在插座信号线安装的滤波电路，见图9-34中的电感为铁氧体磁珠，尺寸尽量大，电容器容量为0.1μF，与底板屏蔽层相连，尽量靠近插座安装。

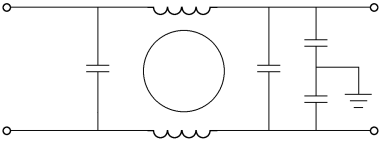


图9-33　直流滤波器电路

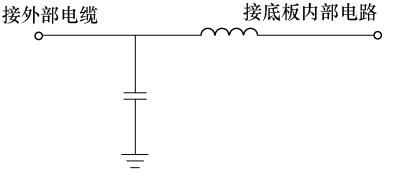


图9-34　信号线滤波器电路

（2）电源板电磁兼容设计

① 电源板与底板为两个插座，交直流分开，交流输入插座除L、N线接线针外其余接线全部接屏蔽层地。

② 在电源板的电源输入端口处安装电源线滤波器，安装位置靠近电源入口处，滤波器下方设置覆铜面，并与底板的屏蔽层相连，滤波器通过覆铜

面与底板的屏蔽层相连。交流滤波器电路见图 9-35 安装，位置见图 9-36。

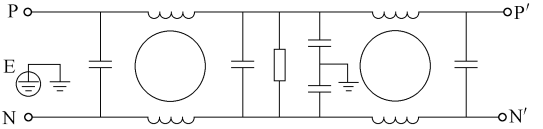


图 9-35　交流滤波器电路

（3）IT 板接口的电磁兼容设计　IT 板模拟量输入/输出接口处，即与图 9-37 中的连接器连接，连接器应和机箱有效接触，通过屏蔽线连接模块 DI、AI。连接线必须屏蔽，焊线时需和连接器的金属部分大面积接触，连接器内部带有滤波电容，外面加磁环，见图 9-37。

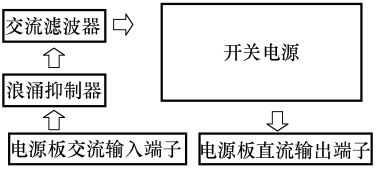


图 9-36　电源板示意图

（4）CPU 板和 PWM 板接口的电磁兼容设计　如图 9-38 所示，CPU 板和 PWM 板接口处，选择与外电路光纤通信。CPU 板可从触摸屏经光纤通信通道接收操作命令和给定信号，处理后输出电压、频率给定信号给 PWM 板转成 PWM 信号，经电/光转换器转光信号，从光发送器发各功率单元。来自功率单元的信息经光/电转换器转成电信号，预处理后送主控制器集中处理。

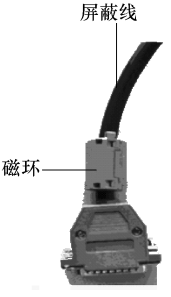


图 9-37　连接器

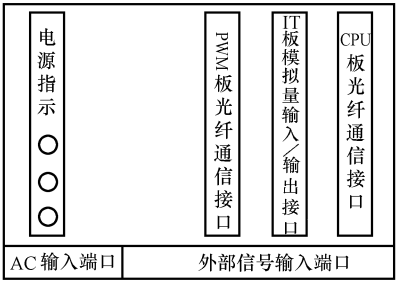


图 9-38　监视箱俯视图

注意：电路尽量处于完整的屏蔽体内；所有进入屏蔽体的导线需要滤波；滤波器要尽量靠近屏蔽体界面；电源线必须有完善的滤波措施，包括射频滤波和脉冲抑制。

参 考 文 献

[1] 区健昌. 电子设备的电磁兼容性设计理论与实践［M］. 北京：电子工业出版社，2010.

[2] 刘重轩. 电气工程（电力及电器）实习指南［M］. 天津：天津大学出版社，2010.

[3] 钱照明，等. 中国电气工程大典：第 2 卷　电力电子技术［M］. 北京：机械工业出版社，2009.

[4] 王仁祥. 现代电气控制与 PLC 应用教程［M］. 北京：机械工业出版社，2012.

[5] 周志敏，周纪海，纪爱华. 变频器工程应用·电磁兼容·故障诊断［M］. 北京：电子工业出版社，2005.

[6] 龚仲华. 变频器从原理到完全应用——三菱、安川［M］. 北京：人民邮电出版社，2009.

[7] 李方园. 变频器原理与维修［M］. 北京：机械工业出版社，2010.

[8] 马晓亮. 高性能变频调速及其典型控制系统［M］. 北京：机械工业出版社，2010.

[9] Bin Wu. 大功率变频器及交流传动［M］. 卫三民，苏位峰，宇文博，译. 北京：机械工业出版社，2008.

[10] 王廷才. 变频器原理及应用［M］. 北京：机械工业出版社，2010.

[11] 《建筑电气工程师手册》编委会. 建筑电气工程师手册［M］. 北京：中国电力出版社，2010.

[12] 建设部干部学院. 实用建筑节能工程技术措施［M］. 北京：中国电力出版社，2008.

[13] 王士政. 工矿企业电气工程师手册［M］. 北京：水利水电出版社 2002.

[14] 杨国福. 常用低压电器手册［M］. 北京：化学工业出版社，2009.

[15] 张占松. 电气技师使用手册［M］. 北京：机械工业出版社，2006.

[16] 西安高压电器研究所有限责任公司. 高压电器产品手册［M］. 北京：机械工业出版社，2008.

[17] 宋伯生. PLC 编程实用指南［M］. 北京：机械工业出版社，2007.

[18] 龚仲华. 三菱 FX 系列 PLC 应用技术［M］. 北京：人民邮电出版

社，2010.

[19] 陈立定. 电气控制与可编程序控制器的原理及应用［M］. 北京：机械工业出版社，2005.

[20] 龚仲华，史建成，孙毅. 三菱 FX/Q 系列 PLC 应用技术［M］. 北京：人民邮电出版社，2006.

[21] 戎罡. 三菱电机中大型可编程序控制器应用指南［M］. 北京：机械工业出版社，2011.

[22] 满永奎，等. 三菱 Q 系列 PLC 原理与应用设计［M］. 北京：机械工业出版社，2010.

[23] 崔成龙. 三菱电机小型可编程序控制器应用指南［M］. 北京：机械工业出版社，2012.

[24] 宋伯生. PLC 编程理论、算法及技巧［M］. 北京：机械工业出版社，2006.

[25] 唐自春，许建平. PLC 原理及应用技术［M］. 北京：高等教育出版社，2011.

[26] 张朝阳. 维修电工技师［M］. 北京：化学工业出版社，2011.

ISBN 978-7-111-52990-3
策划编辑◎陈玉芝 / 封面设计◎张静

DIANQI JISHI SHOUCE

更多精彩图书、资讯
请关注：机械工人之家

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社微信公众号

上架指导 工业技术／电气工程／电工技术

ISBN 978-7-111-52990-3
9 787111 529903 >
定价：69.80元